

OPTICAL SWITCH AND PROTOCOL USED THEREFOR

Publication number: JP2001119734

Publication date: 2001-04-27

Inventor: WANG GUO-QIANG

Applicant: NORTEL NETWORKS LTD

Classification:

- international: H04B10/02; H04B10/20; H04Q3/52; H04Q11/00; H04B10/02; H04B10/20; H04Q3/52; H04Q11/00; (IPC1-7): H04Q3/52; H04B10/02

- European: H04Q11/00P2; H04Q11/00P4

Application number: JP20000223503 20000725

Priority number(s): US19990362886 19990729

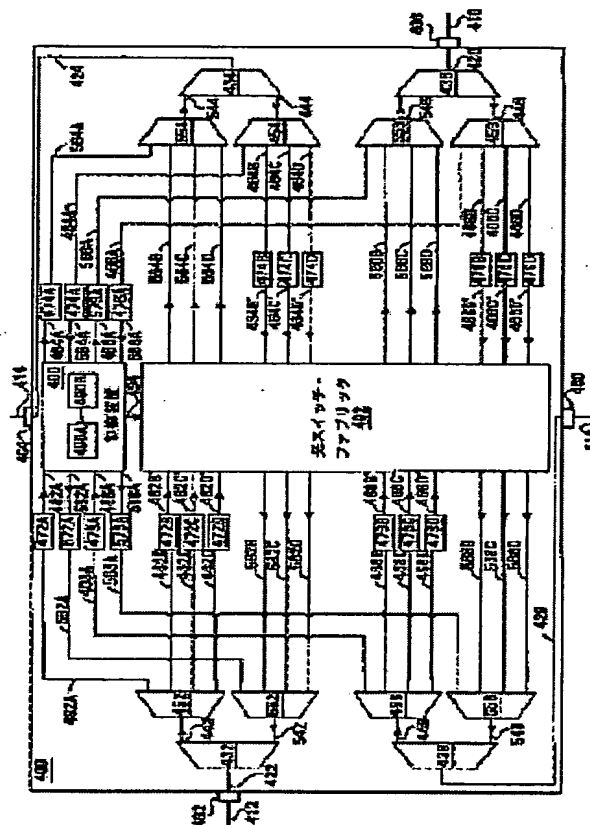
Also published as:

EP1073308 (A2)
US6529301 (B1)
US2003161632 (A1)
EP1073308 (A3)
CA2314322 (A1)

Report a data error here

Abstract of JP2001119734

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the wavelength efficiency of an optical switch by providing a method for establishing data connection and a switch node realizing the method between termination switch nodes of a network. **SOLUTION:** This method comprises switch nodes with respect to a network layer wavelength routing(WR) protocol and obtains a next hop switch node as to all possible combinations of termination nodes on the basis of a network topology. Furthermore, the method requires the switch node relating to network layer wavelength dispersion(WD) when data connection is established. The WR protocol decides a path used through the network and assigns a wavelength to each link between the switch nodes. A different wavelength can be adopted for a different optical link. The switch node includes a wavelength converter provided with an optical switch or a photoelectric converter provided with a digital electronic switch. The digital electronic switch can provide a signal format.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The optical switch fabric which switches the lightwave signal which reaches two or more input optical fiber segments according to a mapping instruction to two or more output optical fiber segments, A wavelength conversion means to change the wavelength which the lightwave signal which connects with said optical switch fabric and carries out Iriki according to a conversion command, or said switched lightwave signal occupies, A switch node equipped with the control unit which is connected to said optical switch fabric and a wavelength conversion means, exchanges other switch nodes and control information using a network layer protocol, and generates said mapping instruction and a conversion command based on this control information.

[Claim 2] The switch node according to claim 1 exchanged in said control information using a control channel out of band.

[Claim 3] The switch node according to claim 1 said whose control channel out of band is an optical supervisory-control channel.

[Claim 4] The switch node according to claim 1 exchanged in said control information using the control channel in a band.

[Claim 5] The switch node according to claim 1 which is equipped with two or more ports which connect a switch node to a contiguity switch node through each fiber link, and is equipped with the optical directional coupler connected to each port about each port, the optical multiplexer connected between each optical directional coupler and each output optical fibers of two or more, and the optical demultiplexer connected between each optical directional coupler and each input optical fibers of two or more.

[Claim 6] The input optical fiber segment of at least one addition which conveys the control information from the switch node which was connected to each optical demultiplexer and connected to each port, The output optical fiber segment of at least one addition which conveys control information to the switch node which was connected to each optical multiplexer and connected to each port, A switch node [equipped with the photo-electric-translation means connected between said control unit, and the input of said addition and an output optical fiber segment] according to claim 5.

[Claim 7] The switch node according to claim 5 in which said control unit has an accessible memory element by the processor and this processor.

[Claim 8] Said memory element has routing table and a wavelength availability table. Said routing table The NeXT hop switch node field relevant to all the possible pairs of a termination switch node is included. Said wavelength availability table A switch node including the identity of the switch node connected to the port of arbitration by each wavelength multiplexing optical fiber link, and display whether the wavelength is occupied about each wavelength, or available according to claim 7.

[Claim 9] The switch node according to claim 8 by which said NeXT hop switch node field is generated with the control unit which performs a routing algorithm.

[Claim 10] The switch node according to claim 9 said whose routing algorithm is a Dijkstra algorithm.

[Claim 11] Said switch node is connected to the switch node in front of the path identified by the 1st termination switch node and the 2nd termination switch node. Said control unit receives a message

from the switch node in front of a, and if b this message is a CONNECTION_REQUEST message Said wavelength availability table is accessed. On the link between current and a front switch node Identify the available wavelength relevant to one of said input optical fiber segments, and if said current switch node is the 2nd termination switch node The mapping command which uses said available wavelength between the input optical fiber segment relevant to said available wavelength and an output optical fiber segment, and establishes connection is generated. If a CONNECTION_CONFIRM message is transmitted to the switch node of said front and said current switch node is not the 2nd termination switch node Access said routing table and the content of the NeXT hop switch node field relevant to said 1st and 2nd termination switch nodes is searched for. A CONNECTION_REQUEST message is transmitted to the switch node identified by this NeXT hop switch node field. c) If said message is a CONNECTION_CONFIRM message The mapping command which uses said available wavelength between the input optical fiber segment relevant to said available wavelength and an output optical fiber segment, and establishes connection is generated. The switch node according to claim 8 which operates so that a CONNECTION_CONFIRM message may be transmitted to a front switch node.

[Claim 12] The switch node according to claim 11 by which said conversion command will be transmitted to said wavelength conversion means if the available wavelength used by the input optical fiber segment differs from the wavelength relevant to the output optical fiber segment to which this input optical fiber is connected through said optical switch fabric.

[Claim 13] The switch node according to claim 1 by which said control information can be automatically reconfigured including the topology information about a network as a function of modification of said topology information of said mapping instruction and a conversion command.

[Claim 14] The switch node according to claim 1 for which each input lightwave signal consists of a sequence of a packet, each packet contains the header and the pay load, said switch node is equipped with a means to extract the header of each packet connected to said input optical fiber segment and control unit, and said mapping instruction and a conversion command depend on the information included in said header.

[Claim 15] Two or more 1st optical/electrical converters which change into an electronic signal the input lightwave signal which occupies each wavelength, Two or more 2nd optical/electrical converters which change an output electronic signal into the output lightwave signal which occupies each wavelength, The digital switch fabric which is connected to said optical/electrical converter and switches an input electronic signal to an output electronic signal according to a mapping instruction, A switch node equipped with the control unit which is connected to said digital switch fabric, exchanges other switch nodes and control information using a network layer protocol, and generates said mapping instruction based on this control information.

[Claim 16] The switch node according to claim 15 exchanged by the control channel out of band in said control information.

[Claim 17] The switch node according to claim 15 exchanged in said control information by the control channel in a band.

[Claim 18] the optical directional coupler equipped with two or more ports which connect a switch node to a contiguity switch node by which each port was connected to each port, and each optical directional coupler and two or more 1st optical/electrical converters -- respectively -- ** -- the optical multiplexer connected in between, and each optical directional coupler and two or more 2nd optical/electrical converters -- respectively -- ** -- the switch node according to claim 15 which has the optical demultiplexer connected in between.

[Claim 19] At least one input optical fiber segment which is connected to each optical demultiplexer and conveys the control information which carries out Iriki, The photo-electric-translation means connected between said input optical fiber segment and said control unit, A switch node [equipped with the photo-electric-translation means which was connected to each optical multiplexer and connected between at least one output optical fiber segment which conveys the control information to leave, and said control unit and an output optical fiber segment] according to claim 18.

[Claim 20] The switch node according to claim 15 which said control unit equips with a means to reformat said input electronic signal in advance of switching.

[Claim 21] The switch node according to claim 15 to which said control unit is equipped with a means to reformat said output electronic signal, after switching.

[Claim 22] It is the approach of establishing data connection between the 1st [in an optical network], and 2nd termination switch nodes. This network It has said two termination switch nodes and two or more of other switch nodes which interconnected by the wavelength multiplexing optical link. The step which identifies the path which has the link and wavelength of the lot which transmits data through the cord switch node more than zero between said 1st termination switch node and the 2nd termination switch node, In each cord switch node connected to each inlet-port link and each outlet link of said identified path The step which performs wavelength conversion when the wavelength occupied on a switch, each inlet port, and an outlet link to each outlet link in the lightwave signal which arrives at each inlet-port link differs, How to establish data connection between the 1st [in a ***** network], and 2nd termination switch nodes.

[Claim 23] In each switch node the step which identifies said path -- a -- The step which relates each NeXT hop switch node with all the possible pairs of a switch node, b) The step at which said 1st termination switch node transmits - data connection-request message to the NeXT hop switch node relevant to the combination at that time of said 1st and 2nd termination switch nodes, c) The step from which said NeXT hop switch node secures the wavelength on the link which connects this NeXT hop switch node to said 1st termination switch node when said connection-request message is received, d) The step which changes an identifier into a current switch node for said NeXT hop switch node, e) when said current switch node does not correspond to said 2nd termination switch node The step at which said current switch node transmits a data connection-request message to the NeXT hop switch node corresponding to the combination at that time of said two termination nodes, the 1st and the 2nd, f) The step from which said NeXT hop switch node secures the wavelength on the link which connects this NeXT hop switch node to said current termination switch node when said connection-request message is received, g) Until said current switch node corresponds to said 2nd termination switch node How to establish data connection between the 1st [in the optical network containing the step which repeats said steps d, e, and f according to claim 22], and 2nd termination switch nodes.

[Claim 24] How to establish data connection between the 1st [in the optical network according to claim 23 where said step a contains the step which performs a routing algorithm based on the topology information about said network], and 2nd termination switch nodes.

[Claim 25] The approach said topology information establishes data connection between the 1st [in the optical network according to claim 24 exchanged between switch nodes using a control channel], and 2nd termination switch nodes.

[Claim 26] The approach said control channel establishes data connection between the 1st [in the optical network according to claim 25 which is a control channel in a band], and 2nd termination switch nodes.

[Claim 27] How to establish data connection between the 1st [in the optical network according to claim 25 said whose control channel is a control channel out of band which occupies at least one wavelength on each link], and 2nd termination switch nodes.

[Claim 28] In the cord switch node by which the step which switches said lightwave signal was connected to said 2nd termination switch node The step which transmits a connection-confirm message to the switch node connected to the wavelength secured on each outlet link to the switch and this inlet-port link in the lightwave signal which occupies the wavelength secured on each inlet-port link, When said connection-confirm message is received in each of other cord switch nodes, The step which transmits said connection-confirm message to the switch node connected to the wavelength secured on each outlet link to the switch and this inlet-port link in the lightwave signal which occupies the wavelength secured on each inlet-port link, How to establish data connection between the 1st [in an optical network given in ***** claim 22], and 2nd termination switch nodes.

[Claim 29] It is the wavelength dispersion protocol which makes it possible to establish data connection between the 1st termination switch node and the 2nd termination switch node through the cord switch node more than the zero on the path in a network. In case said data connection is required first, the first CONNECTION_REQUEST message is transmitted to said 1st termination switch node. In each current switch node by which said protocol was connected to the path between a front switch node and/or the following switch node by each optical link If a message is received from said front or the following switch node, said message is a CONNECTION_REQUEST message

and said current switch node is not said 1st termination switch node The available wavelength on the link between this current one and a front switch node is identified and memorized. If said message is a CONNECTION_REQUEST message and said current switch node is said 2nd termination switch node Establish connection using available wavelength and a CONNECTION_CONFIRM message is transmitted to the switch node of said front. If said message is a CONNECTION_REQUEST message and said current switch node is not said 2nd termination switch node Transmit a CONNECTION_REQUEST message to said following switch node, and if said message is a CONNECTION_CONFIRM message If connection is established using the available wavelength memorized before, said message is a CONNECTION_CONFIRM message and said current switch node is not said 1st termination switch node The wavelength dispersion protocol which transmits a CONNECTION_CONFIRM message to the switch node of said front.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] Generally more specifically, this invention relates to the optical switch node used in an optical network about the field of optical switching. This invention relates to the protocol which manages actuation of a switch node again.

[0002]

[Description of the Prior Art] Development of a mass network has been promoted according to the need of establishing broadband data connection between remote sites, like [between a client and a server]. Generally, such a network communication link infrastructure is offered by one or more communication link entrepreneurs who make applicable to service the geography field which includes various remote sites. A communication link entrepreneur can lease a fiber-optics circuit to the customer who is going to establish mass connection. And in this communication link entrepreneur's network, an optical switch node is constituted so that desired connection may be supported.

[0003] A communication link entrepreneur usually leases as what uses the fiber-optics circuit for a long period of time. Therefore, it is expected that the configuration of the switch established when offering mass connection remains in a position over several months or several years. Therefore, the switch in a network can be constituted manually, without hardly affecting cost or the quality of service offered.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in case size and/or topology treat the network which has always evolved, much switches cannot be constituted manually. Furthermore, if a switch is constituted manually, it cannot be coped with when immediately new mass connection needs to be established through the situation that the bandwidth of the traffic which transmits the inside of a network, or the quality of the requirements for service changes by time amount, or a network. Although it is desirable to offer automatically the switch which can be reconfigured as network topology and a function of change of a traffic load, such a function is not available now.

[0005] Furthermore, it depends for the most general method of establishing the data connection of end to end in the present optical network on using the same wavelength, for example, λ , on the path manually constituted from the network corner to the corner. Consequently, when a part of path corresponding to new connection intersects a part of path corresponding to the original connection, establishing other data connection as wavelength of end to end (between end-to-end and termination) using λ is barred. The activity of the wavelength in a current optical network is strictly restricted by this, and the overall bandwidth effectiveness in a network decreases substantially by it.

[0006] Therefore, it is necessary to offer the optical switch node which conquers the above-mentioned fault by this technical field.

[0007]

[Means for Solving the Problem] This invention can be explained to a wide sense as a switch node (switching node) equipped with an optical switch fabric (optical switch fabric), a wavelength conversion unit, and a control unit. It connects with a control unit and an optical switch fabric is used for switching the lightwave signal which reaches the input optical fiber segment of a lot according to

the mapping instruction received from this control unit to the output optical fiber segment of a lot. It connects with an optical switch fabric and a wavelength conversion unit is used for changing the wavelength which the lightwave signal which carries out Iriki, or the switched lightwave signal occupies according to the conversion command received from a control unit.

[0008] A control unit exchanges other switch nodes and control information using a network layer protocol, and is used for generating a mapping instruction and a conversion command based on this control information. Although the input and output wavelength of an optical data signal can occupy different wavelength and many advantages are brought about as a result by this switch node, one of them is an advantage of improvement in the wavelength effectiveness in an optical network.

[0009] As for control information, it is desirable to be exchanged using a control channel out of band like an optical supervisory-control channel (optical supervisory channel).

[0010] As for a control unit, it is desirable to have an accessible memory element from a processor and this processor. As for a memory element, it is desirable to memorize routing table (routingtable) and a wavelength availability table (wavelength availability table). Routing table includes the NeXT hop (next hop) switch node field relevant to the termination switch node of all the couples that may happen. the wavelength is occupied about the identity (identity) of the switch node by which the wavelength availability table was connected to the port of arbitration by each wavelength multiplexing optical fiber link, and each wavelength -- or available -- that display is included.

[0011] A switch node is usually connected to the switch node "in front of" the path (previous) identified by the 1st termination switch node and the 2nd termination switch node. As for a control unit, in such a scenario, it is desirable to be able to operate so that a message may be received from a front switch node.

[0012] When a message is the so-called CONNECTION_REQUEST (connection request) message, as for a control unit, it is desirable to access a wavelength availability table and to identify the available wavelength relevant to one of the input optical fiber segments on the link between the present switch node and a front switch node.

[0013] If a current switch node is the 2nd termination switch node, as for a control unit, it is desirable to generate the mapping command which establishes connection between one of the input optical fiber segment relevant to available wavelength and output optical fiber segments using available wavelength, and to transmit a CONNECTION_CONFIRM (connection confirm) message to a front switch node.

[0014] If a current switch node is not the 2nd termination switch node when that is not right namely, as for a control unit, it is desirable to transmit a CONNECTION_REQUEST message to the switch node which accessed routing table, searched for the content of the NeXT hop switch node field relevant to the 1st and 2nd termination switch nodes, and was identified by the NeXT hop switch node field.

[0015] On the other hand, when a message is the so-called CONNECTION_CONFIRM message, as for a control unit, it is desirable to generate the mapping command which establishes connection between one of the input optical fiber segment relevant to available wavelength and output optical fiber segments using available wavelength, and to transmit a CONNECTION_CONFIRM message to a front switch node.

[0016] Since the lightwave signal which carries out Iriki corresponds to the architecture of the packet base formed from a packet with a header and a pay load, a switch node can be further equipped with the conversion unit connected to the input optical fiber segment and the control unit, and can extract the header of each packet. In this case, it depends for the mapping instruction and conversion command which are generated by the control unit on the information included in the header of each packet.

[0017] A switch node is equipped with the group of the 1st optical/electrical converter, and the group of the 2nd optical/electrical converter with another operation gestalt. The group of the 1st optical/electrical converter is used for changing into an electronic signal the input lightwave signal which occupies each wavelength, and the group of the 2nd optical/electrical converter is used for changing an output electronic signal into the output lightwave signal which occupies each wavelength.

[0018] A switch node is equipped with the digital switch fabric connected to the optical/electrical

converter again, and switches an input electronic signal to an output electronic signal according to a switching instruction. Finally, a switch node is equipped with the control unit connected to the digital switch fabric and the optical/electrical converter. A control unit exchanges other switch nodes and control information using a network layer protocol, and generates a switching instruction based on this control information.

[0019] With this operation gestalt, an input electronic signal can be reformatted, the reformatted signal is switched, and it is changed by the group of the 2nd converter after that, and it is the semantics that the lightwave signal acquired as a result becomes a desired format, and a switch node offers a grooming (grooming) function. By this, the compatibility between the equipment of the end user in a network improves.

[0020] This invention can be summarized as an approach of establishing the data connection between the 1st termination switch node and the 2nd termination switch node on network level. A network is understood as what has the group of the two above-mentioned termination switch nodes and other switch nodes which interconnected by the wavelength multiplexing optical link.

[0021] This approach contains the 1st step which identifies the path which has the link and wavelength of the lot which transmits data between the 1st termination switch node and the 2nd termination switch node through the cord switch node more than zero.

[0022] In each cord switch node connected to each inlet-port link and each outlet link within the identified path again, this approach contains the step which performs wavelength conversion, when the wavelength occupied on a switch, each inlet port, and an outlet link to each outlet link in the lightwave signal which arrives at each inlet-port link differs. By this, data connection can be established now using different wavelength on a path, and it is advantageous.

[0023] Moreover, this invention can be summarized as a wavelength dispersion protocol which makes possible data connection between the 1st termination switch node and the 2nd termination switch node through the cord switch node more than the zero on the path in a network. This protocol is performed by various switch nodes in a network.

[0024] In each current switch node connected to the path between a front switch node and/or the following switch node by each optical link, a protocol has the function to receive a message from a front or the following switch node.

[0025] A message is a CONNECTION_REQUEST message, and when a current switch node is not the 1st termination switch node, a protocol identifies the available wavelength on the link between a current switch node and a front switch node, and contains the step to memorize.

[0026] Moreover, a message is a CONNECTION_REQUEST message, and when a current switch node is the 2nd termination switch node actually, a protocol establishes connection using available wavelength and transmits a CONNECTION_CONFIRM message to a front switch node. A message is a CONNECTION_REQUEST message, and when a current switch node is not the 2nd termination switch node actually, the step which transmits a CONNECTION_REQUEST message to the following switch node is included.

[0027] However, including the step which establishes connection using the available wavelength the protocol was before remembered to be when a message is a CONNECTION_CONFIRM message, when a current switch node is not the 1st termination switch node, a protocol contains the step which transmits a CONNECTION_CONFIRM message to a front switch node.

[0028] As the protocol meant, in order to operate, when the first CONNECTION_REQUEST message requires data connection first, it shall be transmitted to the 1st termination switch node.

[0029] By participating in this protocol, a switch node will participate in establishment of the end to end of data connection using the wavelength assigned dynamically automatically, consequently the effectiveness of the whole bandwidth of an optical network is improved, and the more flexible protection switching which does not need any longer that an input and output wavelength are the same is offered.

[0030] The above of this invention and the other descriptions will become clear to this contractor by reading explanation of the following concrete operation gestalten which refer to a drawing.

[0031]

[Embodiment of the Invention] Drawing 1 shows the optical switch node 400 linked to other switch nodes in an optical network. According to the desirable operation gestalt of this invention, the switch

node 400 is equipped with two or more ports 402, 404, 406, and 408 externally connected to each wavelength multiplexing optical fiber segments 412, 414, 416, and 418 of two or more. The optical fiber segments 412, 414, 416, and 418 are bidirectional segments, and carry out work of the inlet port to a contiguity switch node (not shown), and an outlet link. Instead, the switch node 400 is also connectable with each of a contiguity switch node with two or more optical fiber segments (it is one and for outlets for example, for inlet ports).

[0032] The optical fiber segments 412, 414, 416, and 418 convey data between contiguity switch nodes preferably. Moreover, the optical fiber segments 412, 414, 416, and 418 commit preferably the control link between the contiguity switch nodes which used the monitor wavelength (known as an optical supervisory-control channel (optical supervisory channel)) of dedication. The approach of others which establish the control link to a switch node includes the activity of the electronics control line of dedication.

[0033] Although the switch node 400 is shown as what has four ports, it can have the port of the number of arbitration equal to 2 more greatly than 2. Moreover, although it has the intention of the optical fiber segments 412, 414, 416, and 418 so that between the ports of a contiguity switch node may be connected, please understand that the optical channel which is each or was multiplexed between the equipment (henceforth customer premises equipment) installed within the premises of a customer using one or more of the optical fiber segments 412, 414, 416, and 418 can be transmitted. In this case, the switch node 400 is called an add / drop node (add/drop node).

[0034] Ports 402, 404, 406, and 408 are connected to each directional coupler 432, 434, 436, and 438 by each medium optical fiber segment 422, 424, 426, and 428 within the switch node 400. The medium optical fiber segments 422, 424, 426, and 428 are bidirectional couplers, and convey both data and a control signal between the interior of the switch node 400 preferably. Directional couplers 432, 434, 436, and 438 are known components which combine with one bidirectional wavelength multiple signal two one-way wavelength multiple signals transmitted to an opposite direction.

[0035] In one direction, each directional coupler 432, 434, 436, and 438 supplies the Iriki signal which extracted the Iriki data and the control signal which have each medium optical fiber segment 422, 424, and 426 and 428 top conveyed, and was extracted such to each medium optical fiber segment 442, 444, and 446 and each optical demultiplexer 452, 454, 456, and 458 on 448.

[0036] In the direction of reverse, each medium optical fiber segment 542, 544, and 546 and 548 top is supplied to sending-out data and a control signal by directional couplers 432, 434, 436, and 438 by each optical multiplexer 552, 554, 556, and 558. Each directional coupler 432, 434, 436, and 438 transmits each sending-out data and control signal on each medium optical fiber segment 422, 424, and 426 connected to each port 402, 404, 406, and 408, and 428.

[0037] Each optical demultiplexer 452, 454, 456, and 458 separates the wavelength multiplexing lightwave signal which reaches each medium optical fiber segment 442, 444, 446, and 448 based on wavelength, and generates each group of the lightwave signal according to individual which appears on each single wavelength optical fiber segment 462 A-D of two or more, 464 A-D, 466 A-D, and 468 A-D.

[0038] Although drawing 1 shows each of the optical demultiplexers 452, 454, 456, and 458 as a thing relevant to four single wavelength optical fiber segments, the number of the segments which come out of an optical demultiplexer should understand that it can respond to the number of the wavelength of each wavelength multiplexing lightwave signal which reaches each medium optical fiber segment 442, 444, and 446 and each optical demultiplexer on 448.

[0039] It is used in order for at least one of two or more single wavelength optical fiber segments which come out of each demultiplexer to transmit control information preferably, and the remaining segments are preferably used for transmitting the data switched. Transmission of the control information put on the wavelength of dedication between two switch nodes is known as establishment of a control channel "out of band (out-of-band)." It is establishable to a part for a header unit by instead embedding a header (control-laden header) including control in the data transmitted between two switch nodes in the control channel "in a band (in-band)."

[0040] In the concrete example of drawing 1, the single wavelength optical fiber segments 462A, 464A, 466A, and 468A offer a control channel out of band, and convey the control information which carries out Iriki from a contiguity switch node. Each single wavelength optical fiber segment

462A, 464A, 466A, and 468A is connected to each optical/electrical converter 472A, 474A, 476A, and 478A. Each optical/electrical converter 472A, 474A, 476A, and 478A changes each single wavelength optical fiber segment 462A, 464A, and 466A and the optical control signal on 468A into each input-control line 482A, 484A, and 486A and the electronics control signal on 488A. The input-control lines 482A, 484A, 486A, and 488A are connected to the control unit 490.

[0041] Remaining group 462 B-D of a single wavelength optical fiber segment, 464 B-D, 466 B-D, and 468 B-D convey the data which carried out Iriki, and each group is supplied to each bank of controllable wavelength transducer 472 B-D, 474 B-D, 476 B-D, and 478 B-D. Each wavelength converter 472 B-D, 474 B-D, 476 B-D, and 478 B-D change the lightwave signal on each single wavelength optical fiber segment 462 B-D, 464 B-D, 466 B-D, and 468 B-D into the wavelength (it is possible for it to be different wavelength) specified by the control signal to which it is transmitted on each control line (not shown) by the control unit 490 from current wavelength.

[0042] After changing into an electronic field the wavelength conversion which wavelength converter 472 B-D, 474 B-D, 476 B-D, and 478 B-D perform through direct optical means, it can be attained by rechanging into specified another optical field of wavelength.

[0043] the signal changed by each bank of wavelength transducer 472 B-D, 474 B-D, 476 B-D, and 478 B-D -- each group 462B of a single wavelength input optical fiber segment -- it appears on '-D', 464B' - D', and 466B'-D', 468B' - D'. these -- an optical fiber - a segment -- 462 -- B -- ' - D -- ' -- 464 -- B -- ' - D -- ' -- 466 -- B -- ' - D -- ' -- 468 -- B -- ' - D -- ' -- an optical switch - a fabric -- 492 -- each -- input port -- supplying -- having .

[0044] The optical switch fabric 492 has two or more output ports connected to each single wavelength output optical fiber segment 562 B-D of two or more, 564 B-D, 566 B-D, and 568 B-D again. an optical switch - a fabric -- 492 -- single -- wavelength -- an input -- an optical fiber - a segment -- 462 -- B -- ' - D -- ' -- 464 -- B -- ' - D -- ' -- 466 -- B -- ' - D -- ' -- 468 -- B -- ' - D -- ' -- and -- single -- wavelength -- an output -- an optical fiber - a segment -- 562 -- B-D -- 564 -- B-D -- 566 -- B-D -- 568 -- B-D -- between -- one -- a pair -- one -- light -- connection -- controllable -- being established -- a circuit -- having . Data connection is established based on the mapping instruction received from the control unit 490 through the control line 494.

[0045] Probably, it will be clear to this contractor that the number of the single wavelength output optical fiber segments connected to the optical switch fabric 492 can differ from the number of the single wavelength input optical fiber segments connected to the optical switch fabric, since various medium optical fiber segments 442, 444, 446, 448, 542, 544, 546, and 548 may correspond to various numbers of wavelength.

[0046] moreover -- wavelength -- a transducer -- a bank -- an optical switch - a fabric -- 492 -- an input -- the section -- it can set -- single -- wavelength -- an input -- an optical fiber - a segment -- 462 -- B -- ' - D -- ' -- 464 -- B -- ' - D -- ' -- 466 -- B -- ' - D -- ' -- 468 -- B -- ' - D -- ' -- not but -- an optical switch - a fabric -- 492 -- an output -- the section -- single -- wavelength -- an output -- an optical fiber - a segment -- 562 -- B-D -- 564 -- B-D -- 566 -- B-D -- 568 -- B-D -- being also connectable -- ** -- saying -- things -- understanding -- it will have -- .

[0047] Two or more output-control lines 582A, 584A, 586A, and 588A which come out of a control unit 490 form a part of each control channel out of band which combines the switch node 400 with a contiguity switch node. The output-control lines 582A, 584A, 586A, and 588A are connected to two or more optical/electrical converters 572A, 574A, 576A, and 578A, respectively. Optical/electrical converters 572A, 574A, 576A, and 578A change the electronics control signal outputted from the control device 490 into each single wavelength optical fiber segment 562A, 564A, and 566A and the lightwave signal which appears on 568A.

[0048] Each single wavelength optical fiber segment 562A, 564A, 566A, and 568A which conveys the control information sent out from the control device 490 is connected to each of the optical multiplexers 552, 554, 556, and 558. Moreover, each group of single wavelength output optical fiber segment 562 B-D which conveys the signal (namely, sending-out data) switched from the optical switch fabric 492, 564 B-D, 566 B-D, and 568 B-D is connected to the optical multiplexers 552, 554, 556, and 558. The optical multiplexers 552, 554, 556, and 558 combine each lightwave signal conveyed by each group of single wavelength optical fiber segment 562 A-D, 564 A-D, 566 A-D, and 568 A-D with the wavelength multiplexing lightwave signal conveyed by each directional

coupler 432, 434, 436, and 438 by each medium optical fiber segment 542, 544, 546, and 548.

[0049] A control unit 490 is equipped with processor 490A preferably connected to memory element 490B. Processor 490A is a microprocessor which performs a software algorithm preferably. Instead, a processor can be the programmable logical unit of a digital signal processor or others.

[0050] Memory element 490B memorizes wavelength availability (availability; availability) information in the form of a wavelength availability table. (A) of drawing 2 shows the configuration of the wavelength availability table 700 by the desirable operation gestalt of this invention. The wavelength availability table 700 has the PORT (port) train 710, the WAVELENGTH (wavelength) train 720, and the AVAILABILITY (availability) train 730. The PORT train 710 contains one entry for every port in a switch node. In the case of the switch node 400 of drawing 1, number of connections, therefore the number of entries within the PORT train 710 of the wavelength availability table 700 are equal to 4. A port is identified with the reference number, 402, 404, 406, and 408, of drawing 1. [i.e.,]

[0051] According to the number of the wavelength which can be sent out to a switch node from Iriki or there through the port about each line corresponding to a given port, two or more entries are possible in the WAVELENGTH train 720. For example, in the case of the switch node 400 of drawing 1, there are six entries corresponding to each of ports 402, 404, 406, and 408 in the WAVELENGTH train 720. The entry which shows whether current occupancy is carried out in the port where corresponding wavelength corresponds about each entry within the WAVELENGTH train 720 is in the AVAILABILITY train 730. Binary value is suitable to express each entry within the AVAILABILITY train 730.

[0052] Memory element 490B memorizes the topology information about a network again. Specifically, memory element 490B memorizes the identity (identity) of the switch node by which direct continuation is carried out to the switch node 400 through one of the optical fiber segments 412, 414, 416, and 418. Memory element 490B memorizes the same topology information (this is transmitted to the switch node 400 by the contiguity switch node) about the network remainder again. Processor 490A in the switch node 400 builds the topology tree of the whole network which makes the switch node 400 the root using the topology information memorized in memory element 490B. Then, processor 490A builds the routing table too memorized by memory element 490B using this tree.

[0053] (B) of drawing 2 shows the routing table 600 by the desirable operation gestalt of this invention. Routing table 600 has the four fields 610, i.e., the transmitting agency switch node (SSN) field, the destination switch node (DSN) field 620, the traffic property information (TCI) field 630, and the NeXT hop switch node (NHSN) field 640 preferably.

[0054] The entry in SSN and the DSN field 610, and 620 expresses all the possible combination of the termination switch node in a network. The TCI field 630 includes the property information on the traffic which received from the switch node identified by the entry in the DSN field 620 of the line to which it corresponds in routing table. Thus, the TCI field 630 identifies a signal format (signaling format) permissible [with each optical interface of each destination switch node].

[0055] Usually, data cannot be transmitted to a destination switch node from a transmitting agency switch node, without at least one cord switch node also passing. Therefore, generally the switch node 400 is one of a series of cord switch nodes located between a transmitting agency and the destination. The next intermediate node on the path to a destination switch node is known as a NeXT hop switch node (next hop switching node), and this is identified in the NHSN field 640 of routing table. The NeXT hop switch node is the function of location ** of the current switch node in a transmitting agency switch node, a destination switch node, network topology, and topology. Therefore, it differs for every switch node in a network, routing table is fundamentally static, and only when network topology is changed, it changes.

[0056] At the time of actuation, the approach by which control information is transmitted, received and interpreted by various switch nodes in a network is managed by the wavelength routing (WR:wavelength routing) protocol of a network layer. The path of the end to end which transmits data to a destination switch node from a transmitting agency switch node on the path in a network is establishable by making each switch node participate in the wavelength dispersion (WD:wavelength distribution) protocol of a network layer. These two protocols are explained below.

[0057] WR protocol is realized by making the processor in each switch node perform an algorithm as shown in the flow chart of drawing 5. Specifically, drawing 5 contains the information propagation step 1010, the information storage step 1020, and the information processing step 1030.

[0058] The propagation step 1010 becomes the beginning from the step to which a control device 490 transmits topology information and traffic property information at a contiguity switch node through a suitable control channel (inside of out of band or a band). Topology information has the identity of the switch node 400, and the identity of each switch node which adjoined the switch node 400 and was connected to one of the ports. Traffic property information can consist of a list of types (signaling type) of a permissible signal to each port. An end user's requirements for a format can adjust the content of this list.

[0059] Furthermore, the switch node 400 relays the control information received from the contiguity switch node of arbitration to all other contiguity switch nodes as another part of 1010 of a propagation step. It can transmit at intervals of [periodical] 10 seconds, or instead, the control information transmitted by the switch node 400 can also be transmitted, only when the received control information has modification.

[0060] Since each switch node transmits not only the control information of itself but the control information of the adjacent node, each switch node will recognize inductively the topology of the whole network, and the permissible signal type relevant to each switch node in this network.

[0061] The storage step 1020 consists of a step a control device 490 remembers the topology of itself and traffic property information, and those information received from the contiguity switch node to be in memory element 490B.

[0062] Finally, the processing step 1030 consists of a step to which the control device 490 in the switch node 400 generates periodically as a function of the network topology information memorized at the storage step 1020, and traffic property information the routing table memorized in memory element 490B after modification of topology. If the routing table shown in (B) of drawing 2 is referred to, in order to fill the NHSN field 640 of the specific line of routing table 600, the software in the processor of a switch node is the NeXT hop routing algorithm (J. refer to Moy work, Network Working Group RFC 1583, and PP.142-160.), for example, a well-known Dijkstra algorithm. here -- this reference -- reference -- taking in -- it performs. When a Dijkstra algorithm does not generate the NeXT hop switch node suitable about the given line in routing table 600, the entry to which this data is corresponded in NHSN and the TCI field 630, and 640 can be told by making it a null, respectively.

[0063] WD protocol is realized by performing an algorithm as the processor in each switch node shows in the flow chart of drawing 6. The wavelength dispersion (WD) protocol of this invention consists of some the exchange and the interpretations containing an INITIAL_CONNECTION_REQUEST (handshake demand) message, a CONNECTION_REQUEST (connection request) message, a CONNECTION_CONFIRM (connection confirm) message, and a CONNECTION_DENY (connection refusal) message of the message of a type.

[0064] If step 1610 is referred to on the flow chart of drawing 6, and a twist concrete target, the processor in a given switch node will wait for reception of a message. If a message is received, a processor will inspect whether the message is an INITIAL_CONNECTION_REQUEST message at step 1620. An INITIAL_CONNECTION_REQUEST message is usually generated by the customer premises equipment connected for example, to the transmitting agency switch node.

[0065] If the message which received is an INITIAL_CONNECTION_REQUEST message actually, the signal format (for example, TCIS) used with the interface connected to the transmitting agency, and a destination switch node and a transmitting agency switch node will be specified. At step 1630, it inspects whether a processor is in agreement with either of the signal formats by which TCIS is permitted with the interface connected to the destination switch node. If TCI is not in agreement, the customer of a transmitting agency switch node receives the advice of a purport which cannot establish connection.

[0066] On the other hand, if TCI is in agreement, a processor will investigate the entry in the NHSN field of the line of the routing table relevant to a transmitting agency and a destination switch node, and will transmit a CONNECTION_REQUEST message to the switch node identified by the entry after that. A CONNECTION_REQUEST message contains the SSN parameter which identifies a

transmitting agency switch node preferably, and the DSN parameter which identifies a destination switch node. The reception place by which the CONNECTION_REQUEST message was meant is known as a "degree" switch node on the path between a transmitting agency node and a destination node.

[0067] The message by which reception was checked at step 1620 may be not an INITIAL_CONNECTION_REQUEST message but a CONNECTION_REQUEST message (like [INITIAL_CONNECTION_REQUEST message / of the CONNECTION_REQUEST message transmitted from the transmitting agency switch node later]). A current switch node shall receive a CONNECTION_REQUEST message from the "front" switch node on the path between a transmitting agency switch node and a destination switch node.

[0068] Reception of a CONNECTION_REQUEST message inspects whether empty wavelength is between a front switch node and a current switch node at step 1640. When there is no empty wavelength, as shown in step 1650, a processor transmits a CONNECTION_DENY message to a front switch node.

[0069] On the other hand, when there is empty wavelength, the wavelength of this opening is memorized in the memory element connected to the processor in a current switch node at step 1660. At step 1670, it is inspected continuously whether a current switch node is a destination switch node actually. If a current switch node is not a destination switch node actually, as shown in step 1680, a CONNECTION_REQUEST message will be transmitted to the following switch node on a path.

[0070] If a current switch node is a destination switch node actually, data connection will be established through the optical switch fabric of a current switch node at step 1690. This can be attained by offering the mapping instruction for the optical switch fabric 492 with a suitable control device 490. The single wavelength optical fiber relevant to empty wavelength (the memory element memorized after activation of step 1660) and the optical fiber segment linked to the customer premises equipment connected to the destination switch node are combined by this connection.

[0071] When the wavelength which customer premises equipment occupies differs from the wavelength of the opening memorized in the memory element, the suitable instruction for the wavelength converter relevant to the wavelength of this opening must be transmitted. Furthermore, it is updated so that it may reflect that the "empty" wavelength of a wavelength availability table is not available any longer on the corresponding port which combines the present switch node and a front switch node.

[0072] After connection is established, step 1700 shows that a CONNECTION_CONFIRM message is transmitted to a front switch node (it now connects with the current switch node optically with empty wavelength). A CONNECTION_CONFIRM message specifies empty wavelength.

[0073] When step 1620 is referred to again and a received message is a CONNECTION_DENY message, as shown in step 1730, the present switch node depends for action which should be taken for whether being a transmitting agency switch node. If a current switch node is not a transmitting agency switch node, a CONNECTION_DENY message will be returned to a front switch node as shown in step 1650. Therefore, a CONNECTION_DENY message reaches a transmitting agency switch node eventually, and it is told to a customer here according to step 1740 that connection is unestablishable.

[0074] Finally, when the message by which reception was checked at step 1620 is a CONNECTION_CONFIRM message, as shown in step 1710, the present switch node depends for action which should be taken for whether being a transmitting agency switch node. If a current switch node is a transmitting agency switch node actually, connection will be established between the optical fiber segment connected to customer premises equipment, and the single wavelength optical fiber segment which conveys data between a transmitting agency switch node and the following switch node (step 1720).

[0075] If a current switch node is not a transmitting agency switch node actually (step 1690), the connection which connects the single wavelength optical fiber segment which conveys data between the switch nodes of a current switch node, before, and a degree will be established. Furthermore, the wavelength availability table memorized locally is updated so that occupancy of the new wavelength on the optical fiber segment which conveys data between the switch nodes of the present switch node, before, and a degree may be reflected. Anyway, wavelength conversion command is

transmitted to a suitable wavelength converter if needed. As shown in step 1700, a CONNECTION_CONFIRM message is transmitted to a front switch node after that.

[0076] It explains referring to drawing 3 about the example which shows the approach by which connection of end to end is established using WD protocol. Drawing 3 shows the optical network 800 which has two or more switch nodes 802-824 connected by the mesh matrix pattern through two or more optical fiber segments 826-858. The switch node 802 is connected to customer premises equipment (CPE:customer premises equipment) 860 through the optical fiber segment 862 which uses wavelength lambdaS. CPE860 uses the signal format which can be expressed with TCIS. The switch node 824 is connected to CPE864 through the optical fiber segment 866 which uses wavelength lambdaF. CPE864 permits a signal format discriminable in a group {TCIF}.

[0077] The switch nodes 802-824 participate in WD protocol of this invention. Therefore, routing table is generated in each switch node. Although these routing table differs about each switch node, it is static until network topology changes. Since drawing is made legible and generality is not lost, (A) of drawing 7 shows a part of routing table 900 generated by the switch node 802 corresponding to the line as which a transmitting agency switch node is specified as a switch node 802, and the destination switch node is specified as a switch node 824. Specifically, the entry within the TCI train 630 shows that CPE864 connected to the switch node 824 is the listed format, namely, can receive data by OC-4, OC-32, OC-192, and Gigabit Ethernet (trademark) (GBE). The entry within the NHSN train 640 shows that the NeXT hop switch node of a path which connects the switch nodes 802 and 824 is the switch node 808.

[0078] Similarly, (B) of drawing 7 shows the line of instantiation of the routing table 950 memorized in the memory element of the switch node 808. This line also corresponds to the combination of the transmitting agency-destination containing the switch nodes 802 and 824. Routing table 950 is generated from a viewpoint of the switch node 808, therefore the entry within the NHSN train 640 differs from the entry within the NHSN train 640 of the routing table 900 memorized in the switch node 802. In the example of (B) of drawing 7, the entry within the NHSN train 640 specifies the switch node 810. The entry to which similarly it corresponds within the NHSN train 640 in the routing table memorized in the switch nodes 810 and 816 and 818 can show the switch nodes 816, 818, and 824, respectively.

[0079] Thus, as the continuous line of the bold letter of drawing 3 shows, among the switch nodes 802 and 824, the potential path which consists of optical fiber segments 830, 836, 842, 848, and 854 exists. Similarly, a potential path exists among all the combination of a transmitting agency switch node and a destination switch node.

[0080] Message switching of WD protocol is explained referring to succeeding the network of drawing 3, and the flow chart of drawing 6. First, desire of wanting to establish the data connection of end to end between CPE860 and CPE864 is told to the transmitting agency switch node 802 by the approach for which arbitration was suitable. That is, an INITIAL_CONNECTION_REQUEST message is received by the switch node 802.

[0081] The switch node 802 compares with the group of the signal format relevant to CPE864 permitted, i.e., a group, {TCIF} according to WD protocol, the signal format, i.e., TCIS, of CPE860. (at step 1630) If coincidence of TCI is detected, the processor in the transmitting agency switch node 802 will extract the identity of the switch node in the NHSN field of the line corresponding to the combination of a specific transmitting agency-destination switch node with reference to the routing table ((A) of drawing 7). The switch node identified by doing in this way in this case is the switch node 808. (When TCIS is not the element of a group {TCIF}, please care about that a connection request is refused.) As shown in step 1740 of drawing 6, the control unit in the transmitting agency switch node 802 takes action which notifies that the connection request was refused by the end user. After that, the processor in the transmitting agency switch node 802 formulates a CONNECTION_REQUEST message, and transmits it to the switch node 808 (step 1680). A CONNECTION_REQUEST message identifies the switch node 802 as a transmitting agency switch node, and is identifying the switch node 824 as a destination switch node. a CONNECTION_REQUEST message is suitable by the transmitting agency switch node 802 -- it is transmitted to the switch node 808 through out of band or the control channel in a band.

[0082] It judges whether according to step 1640 of drawing 6, the switch node 808 has empty

wavelength with reference to a wavelength availability table on the optical fiber segment 830 which combines the switch node 808 with a front switch node (this example transmitting agency switch node 802). Consequently, if one of wavelength is found, the copy of a CONNECTION_REQUEST message will be transmitted to the switch node 810 (step 1680), and a connection request will spread a path top further. When wavelength is not found, a connection request is refused and a CONNECTION_DENY message is returned to the transmitting agency switch node 802 (step 1650). Here, since the switch node 808 is not the destination switch node 824, connection is not established yet.

[0083] The transmitted CONNECTION_DENY message has that the connection request was refused and the suitable format which shows that reason (available wavelength was not found on the optical fiber segment 830 in this case). At steps 1730 and 1740 of drawing 6, if a CONNECTION_DENY message is received, the control unit in the transmitting agency switch node 802 can take action which notifies that the connection request was refused by the end user of CPE860.

[0084] Each of the switch nodes 810, 816, and 818 performs the same algorithm, and, therefore, performs the same task as the switch node 808 fundamentally. Therefore, if wavelength is available at each of the optical fiber segments 836, 842, and 848, a CONNECTION_REQUEST message will be eventually received by the destination switch node 824. Similarly, the CONNECTION_DENY message returned to one of the switch nodes 810, 816, and 818 is transmitted to the transmitting agency switch node 802, and can take action which notifies that the connection request was refused by the end user here.

[0085] TCIS belongs to a group {TCIF}, and supposing the path of suitable wavelength is available, the CONNECTION_REQUEST message transmitted by the transmitting agency switch node 802 will reach the destination switch node 824 eventually through "medium" switch nodes 808, 810, 816, and 818. Since the destination switch node 824 is identified with the DSN parameter in a CONNECTION_REQUEST message, it gets to know that the destination switch node 824 is a switch node of the last on the potential path to which self is led from the transmitting agency switch node 802. In the scenario of instantiation of drawing 3, the final destination is CPE864 connected to the destination switch node 824 through the optical fiber segment 866 constituted so that a lightwave signal might be conveyed by wavelength λ_F . A CONNECTION_REQUEST message tends to be answered and the processor in the destination switch node 824 tends to find empty wavelength on the optical fiber segment 854 which connects the destination switch node 824 and the cord switch node 818.

[0086] Data connection will be established if such wavelength, for example, λ_I , is found (step 1720). Specifically, a control device transmits the mapping instruction which switches the lightwave signal on the single wavelength input optical fiber segment relevant to λ_I to the optical fiber segment 866 connected to customer premises equipment 864 to the optical switch fabric. Furthermore, a control device transmits the value of wavelength λ_F to the wavelength converter relevant to the single wavelength input optical fiber segment which conveys a lightwave signal by wavelength λ_I . When λ_I differs from λ_F , the wavelength converter needs to perform wavelength conversion. Furthermore, the destination switch node 824 is the information about the newly established data connection, and updates the wavelength availability table. That is, wavelength λ_I on the optical fiber segment 854 is used for the entry in the AVAILABILITY field 730 of a suitable line, namely, the value which shows that it is not available is given to it.

[0087] After ordering to set data connection as an optical switch fabric, WD protocol described by step 1700 of drawing 7 is required as the destination switch node 824 transmitting a CONNECTION_CONFIRM message to the cord switch node 818. A CONNECTION_CONFIRM message specifies wavelength λ_I which is the wavelength (wavelength before wavelength conversion) relevant to the single wavelength input optical fiber segment connected through the optical switch fabric in the destination switch node 824.

[0088] If the CONNECTION_CONFIRM message transmitted from the destination switch node 824 is received, cord switch node 818 the very thing will establish connection between the single wavelength output optical fiber with which the signal of wavelength λ_I is conveyed on the optical fiber segment 854, and the single wavelength input optical fiber with which the signal of empty wavelength (for example, λ_J) with which it memorized before is conveyed on the

optical fiber segment 848. The wavelength converter to which λ_I corresponds when not equal to λ_J is ordered to perform suitable wavelength conversion. Subsequently, the control device in the cord switch node 818 updates its own wavelength availability table, and transmits a CONNECTION_CONFIRM message to the cord switch node 816 after that. This message specifies λ_J (not being λ_I or λ_F , either).

[0089] This back track of a CONNECTION_CONFIRM message is continued until this message is received by the transmitting agency switch node 802. At step 1720 of the algorithm described in relation to drawing 7, a mapping instruction is transmitted to the optical switch fabric for the purpose of establishing connection between the optical fiber segment 862 which occupies wavelength λ_S by which the control device in the transmitting agency switch node 802 was connected to CPE860, and the single wavelength optical fiber segment from which the signal is conveyed by wavelength λ_K by the optical fiber segment 830. When λ_K differs from λ_S , a wavelength conversion command is transmitted to the wavelength converter relevant to the optical fiber segment 862.

[0090] It turns out that the wavelength from which the path between the transmitting origin which consists of optical fiber segments 830, 836, 842, 848, and 854 and the destination switch node 802, and 824 differs from the above explanation can be occupied. Whenever new connection is required as a result of the topology and traffic property information that it is automatically exchanged by the favor of various switch nodes which participate in WR protocol, wavelength can be assigned to a specific optical fiber segment in a dynamic way with the above-mentioned wavelength dispersion (WD) protocol. Therefore, available network bandwidth is used more efficiently and time amount required to constitute a switch node, an effort, and cost are reduced substantially.

[0091] Although the case where a transmitting agency switch node transmits data to a destination switch node on the other hand at a target is treated in the above-mentioned explanation about WD protocol, this invention is applied also when one switch node takes out data from the switch node of another side. In the one way communication of this reverse, it is more appropriate to call two termination switch nodes a "client" (for data to be received) switch node and a "server" (for data to be transmitted to client) switch node.

[0092] If the network and the shown path of instantiation of drawing 3 are considered, a client can conclude that it connects with the switch node 802 and the server is connected to the switch node 824. A client 802 is connected to CPE860 through the optical fiber segment 862, and the server 824 is connected to the database 864 through the optical fiber segment 866. Here, the above-mentioned WR protocol is a device for various switch nodes in a network to exchange and process control information. However, since it corresponds to the data transfer (the direction of the data flow of the example of the transmitting agency-destination mentioned above is the direction of reverse) from a server 824 to a client 802, some WD protocols are changed.

[0093] Although step 1630 (a TCI comparison is performed) of drawing 6 cannot be performed by the client side switch node, specifically, this is because the signal type transmitted from a server is sometimes unknown. Therefore, this step is performed by the server side switch node when this step is postponed until the CONNECTION_REQUEST message was received by the server side switch node, and a CONNECTION_REQUEST message is received.

[0094] Although routing is attained by the switch node which performs a routing control algorithm, it should also understand it that the desired path in which a transmitting agency switch node, i.e., a client, passes along a network about the specific combination of the end point can be set up beforehand. In other words, the NSHN entry of the routing table in each switch node can be guessed in advance. Since there is an advantage that wavelength is dynamically assigned to each segment within a path according to WD protocol, choosing a path beforehand with hand control is also permitted. Thus, a processing step is skipped, and WR protocol can be used only in order to only distribute and collect traffic property information.

[0095] Moreover, it is also within the limits of this invention to offer bidirectional data connection between two termination switch nodes. Assignment of the wavelength of one-way communication can follow the algorithm of the scenario of the above-mentioned transmitting agency-destination, and assignment of the wavelength of the hard flow can follow the algorithm of the scenario of the above-mentioned client-server.

[0096] Furthermore, this invention can be extended and applied even when saying, "It is compatible (compatible)", although the signal type in the end point does not carry out coincidence. For example, although a destination switch node permits OC-48 signal, when a transmitting agency switch node transmits OC-12 signal, the task which carries out grooming (grooming) of the OC-12 signal to one of the cord switch nodes on the path between a termination switch node or two termination switch nodes is assigned, and OC-12 signal can turn into OC-48 signal. In this case, it is said that the signal type of OC-12 and OC-48 has compatibility.

[0097] Therefore, no wavelength is available, or TCIS changes WD protocol, when the element of a group {TCIF} throat does not have compatibility, and a CONNECTION_DENY message can be transmitted. Compatibility can be judged by referring to a pair of (putting together) compatible signal type table (this being memorizable in each memory element) within each switch node.

[0098] In order to offer a desired grooming function, it is necessary to change the design of a switch node. Drawing 4 shows the switch node 900 by the operation gestalt of an alternative of this invention. The switch node 900 is the same as the switch node 400 except for the fixed point of difference described below.

[0099] The switch node 900 is equipped with group 902 B-D of the optical/electrical converter connected between each demultiplexer 452, 454, 456, and 458 and "grooming processor and switch" 992, 904 B-D, 906 B-D, and 908 B-D. Converter 902 B-D, 904 B-D, 906 B-D, and 908 B-D are used for changing the optical data signal with which it was received on each single wavelength input optical fiber 462 B-D, 464 B-D, 466 B-D, and 468 B-D into the electrical signal supplied by the grooming processor 992. An analog-digital converter (not shown) is preferably offered between optical/electrical converter 902 B-D, 904 B-D, 906 B-D, 908 B-D, and "a grooming processor and a switch."

[0100] "A grooming processor and switch" 992 is the high-speed digital signal processor preferably programmed so that a digital electronic signal might be changed into another signal type from a certain signal type. Moreover, "grooming processor and switch" 992 offer the digital cross connection function to connect to one of the arbitration of two or more electronic signal-line 962 B-D, 964 B-D, 966 B-D, and 968 B-D each electronic signal by which grooming was carried out.

[0101] Group 962 B-D of an electronic signal line, 964 B-D, 966 B-D, and 968 B-D are connected to each optical multiplexer 552, 554, 556, and 558 through group 972 B-D of each optical/electrical converter, 974 B-D, 976 B-D, and 978 B-D. An optical/electrical converter changes each electronic signal into the lightwave signal of controllable wavelength from a control unit 490 through each control line (not shown). For this reason, although a wavelength converter is not clearly required for the design of the switch node of drawing 4, that function depends this on it being implicit in optical/electrical converter 972 B-D, 974 B-D, 976 B-D, and 978 B-D.

[0102] According to another operation gestalt of this invention, a protection feature reliable in a mesh network is realizable using WR and WD protocol which control drawing 1 and the switch node, and actuation of drawing 4. When data connection is established on a specific fiber link and the link more specifically becomes a failure, a transmitting agency switch node can start a new data connection request. Since each switch node is participating in WR protocol, the value of NHSN in each routing table turns into a value which is automatically different as a result of modification of the network topology resulting from the broken link.

[0103] Probably, it will be clear to this contractor that can program a new connection request after a failure is detected, and this demand is treated by WD protocol of this invention, consequently a reliable path new about the data connection which suited the fault condition is set up by origin. Another advantage dependent on WR and WD protocol which were indicated on these descriptions is the goodness of wavelength effectiveness. This is because it is not necessary to carry out re-routing independently about different wavelength which does not need to secure protection wavelength beforehand and is occupied by the single optical fiber segment. Since protection of each wavelength is always possible when capacity is in a network by the latter function, this is advantageous.

[0104] According to still more nearly another alternative implementation gestalt of this invention, the switch fabric 492 of drawing 1 and all the same optical switch fabrics (all-optical switching fabric) can be offered. However, a switch fabric can be made to answer the switching instruction of a

specific input lightwave signal which changes as a function of time amount instead of mapping each single wavelength input optical fiber segment in one single wavelength output optical fiber segment at a data connection period.

[0105] The essence of an input lightwave signal is the packet base, and this function is useful when each packet has a header unit and the pay-load section. A header can identify a transmitting agency and a destination switch node. Although a different packet shares the same wavelength and the same single wavelength optical fiber segment, the header relevant to them can show thoroughly different transmitting origin and/or the destination.

[0106] A switch node can be equipped with a bank (for example, PIN diode) of the optical tap (optical tap) connected to the single wavelength input optical fiber segment with this alternative implementation gestalt of this invention. These taps are connected to an optical/electrical converter and all of those optical/electrical converters are connected to a control unit. Therefore, a control unit can read and process the header of each packet which carries out Iriki.

[0107] At the time of actuation, as mentioned above, a wavelength routing (WR) protocol works. Furthermore, if a data connection request is made (here, the pair of each transmitting agency-destination is identified), based on network topology, the specific group of a mapping instruction and a wavelength conversion command will be generated using a wavelength dispersion (WD) protocol.

[0108] However, in order to establish specific data connection in this case, an additional step is performed before mapping a single wavelength input optical fiber segment in a single wavelength output optical fiber segment. Specifically, the header of each packet on an input optical fiber segment is inspected. That the mapping instruction and wavelength conversion command which were drawn before are used is only the case where the transmitting origin specified as the header and the destination are in agreement with the pair of the transmitting agency-destination where connection was set up using WD protocol.

[0109] Naturally it is also within the limits of this invention to make it possible to make one mapping apply to each packet, and to relate two or more mapping with each single wavelength input optical fiber segment depending on the transmitting origin specified as the header and a destination switch node.

[0110] As mentioned above, without deviating from the range of this invention indicated to a claim, although explained and illustrated about the desirable operation gestalt and the alternative implementation gestalt of this invention, it will understand that modification and correction can be further added to this invention, if it is this contractor.

[Translation done.]

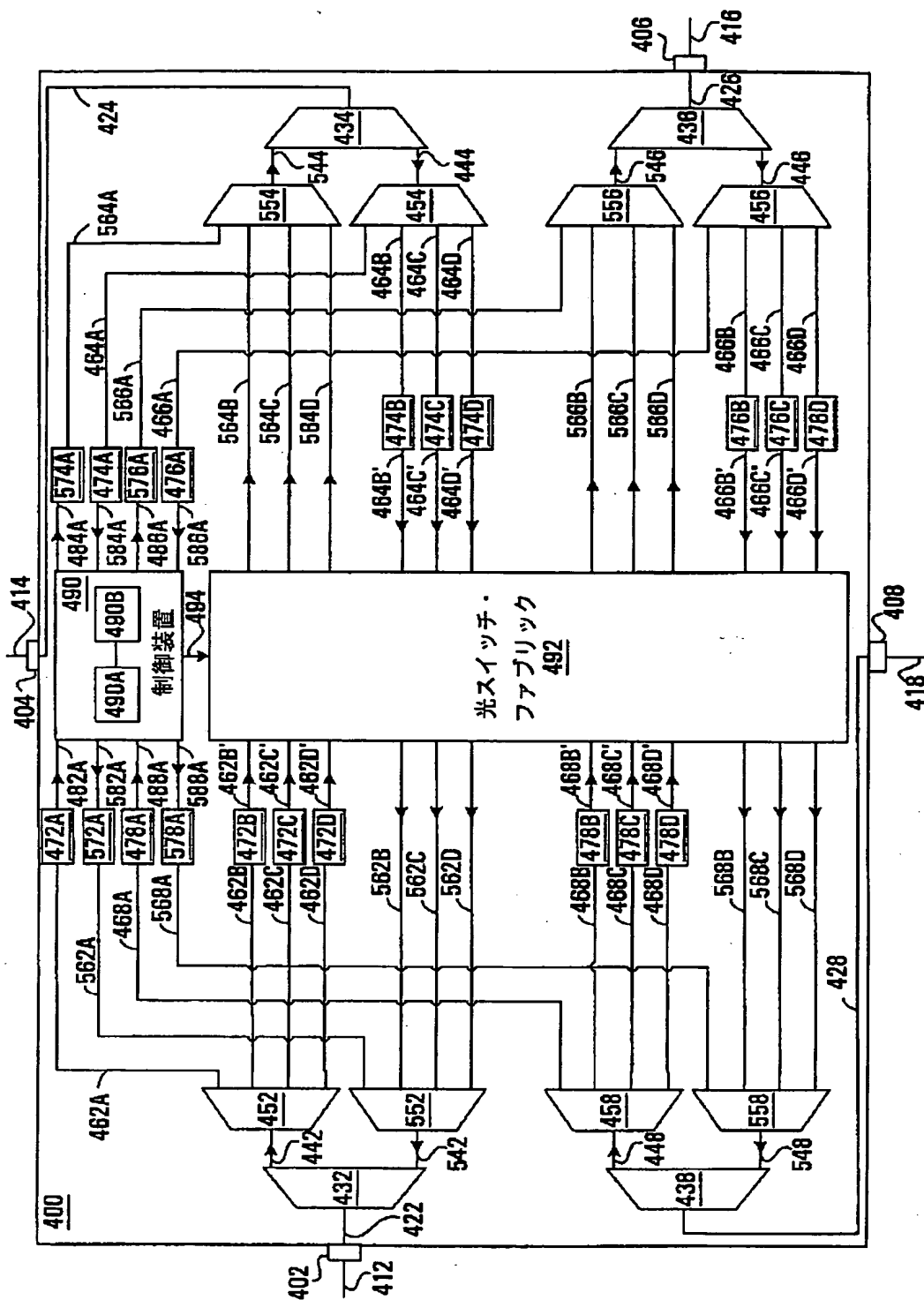
* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

[Drawing 1]



[Drawing 2]

PORT 710	WAVELENGTH 720	AVAILABILITY 730
402		
404		
408		
408		

700

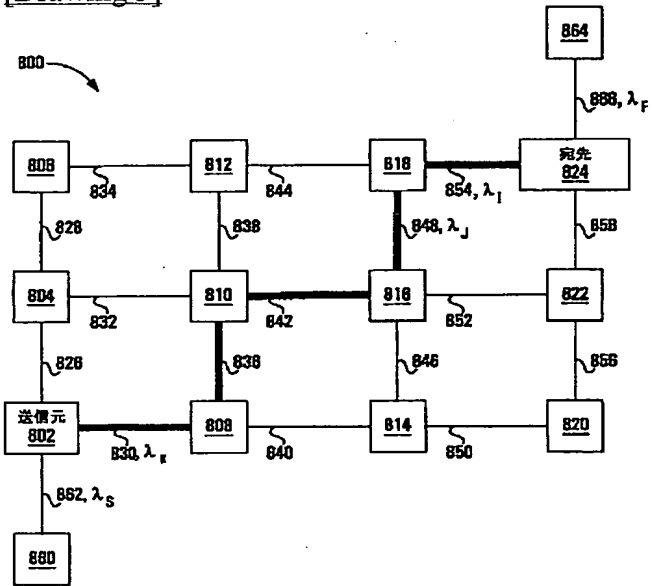
(A)

SSN 810	OSN 820	TCL 830	NHSN 840

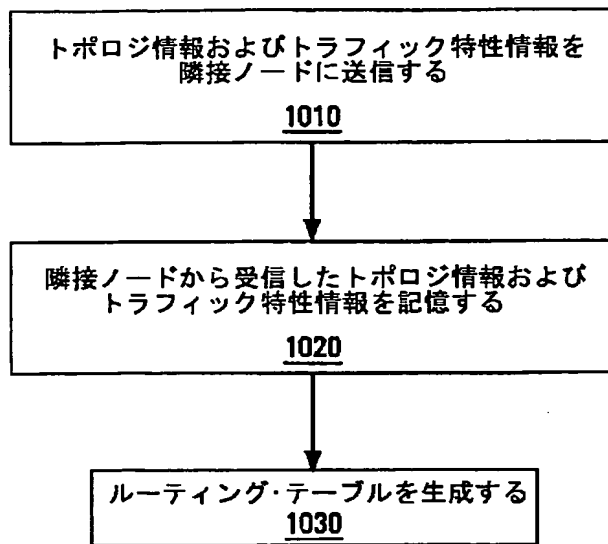
600

(B)

[Drawing 3]



[Drawing 5]



[Drawing 7]

SSN 610	DSN 620	TCI 630	NHSN 640
...
802	824	OC-4 OC-32 OC-182 68E	808
...

800

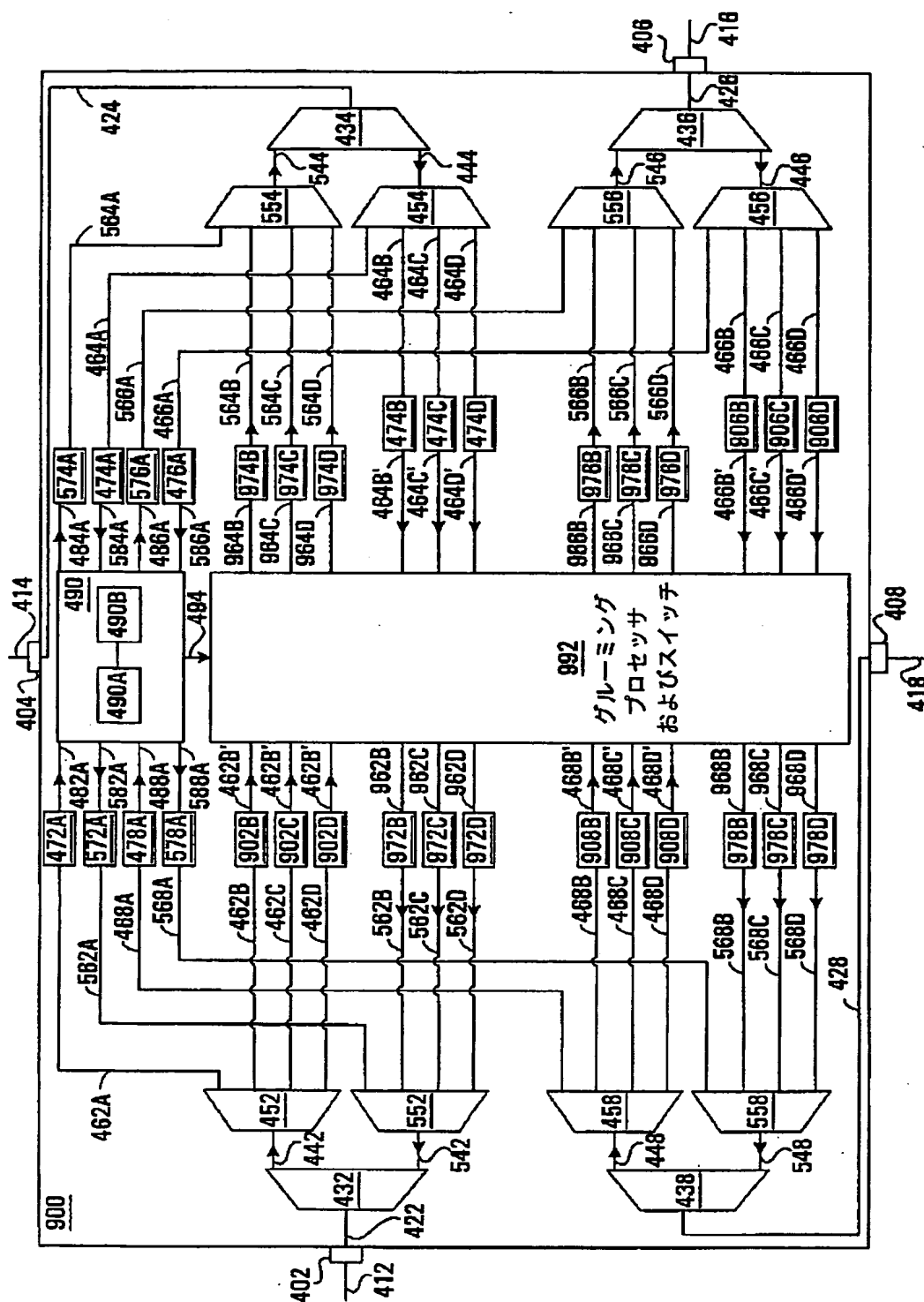
(A)

SSN 610	DSN 620	TCI 630	NHSN 640
...
802	824	OC-4 OC-32 OC-182 68E	810
...

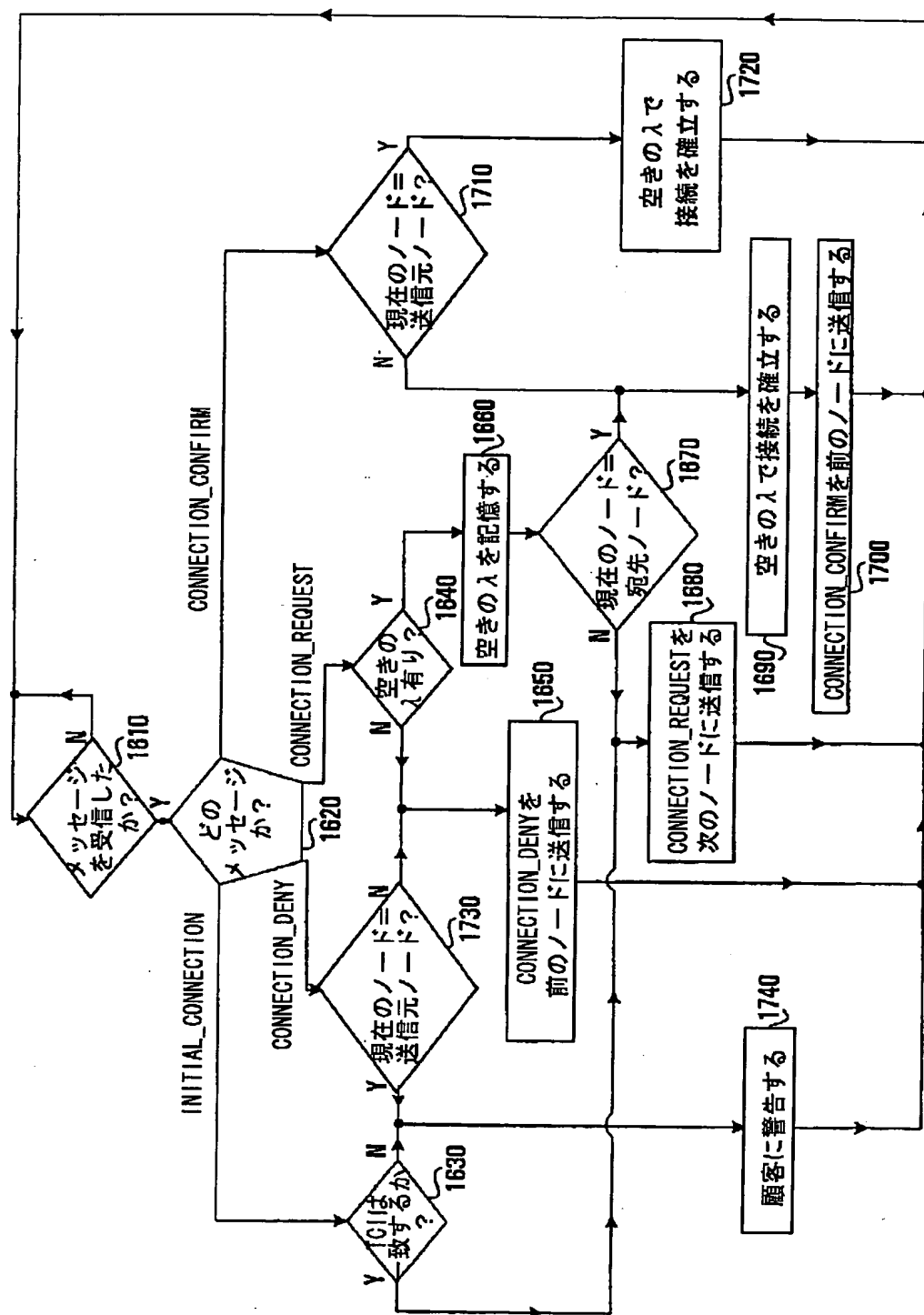
850

(B)

[Drawing 4]



[Drawing 6]



1/29/2007

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-119734
(P2001-119734A)

(43) 公開日 平成13年4月27日 (2001.4.27)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード [*] (参考)
H 0 4 Q 3/52		H 0 4 Q 3/52	C
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	T
10/20			N

審査請求 未請求 請求項の数29 O L 外国語出願 (全 69 頁)

(21) 出願番号 特願2000-223503(P2000-223503)
(22) 出願日 平成12年7月25日(2000.7.25)
(31) 優先権主張番号 09/362886
(32) 優先日 平成11年7月29日(1999.7.29)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390023157
ノーテル・ネットワークス・リミテッド
NORTEL NETWORKS LIM
ITED
カナダ国 エッチ・2・ワイ 3・ワイ・
4 ケベック州 モントリオール セイン
ト アントワヌ ストリート ウェスト
380 ワールド トレード センター
オブ モントリオール エイスフロアー
(74) 代理人 100081721
弁理士 岡田 次生 (外4名)

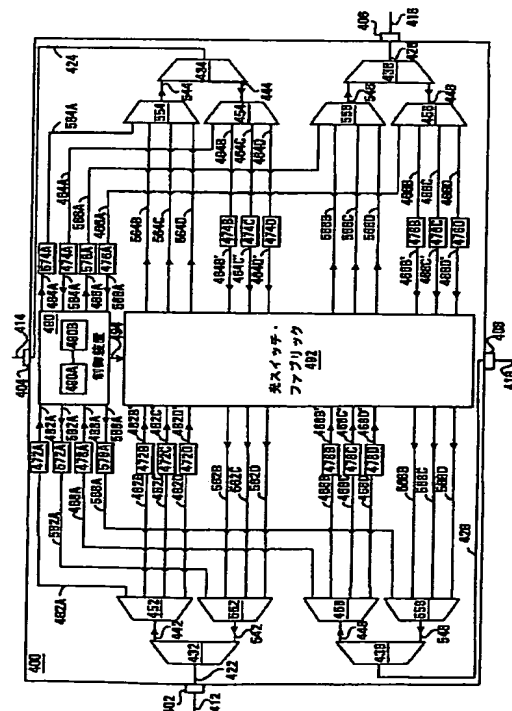
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光スイッチおよびそこで用いるプロトコル

(57) 【要約】

【課題】 ネットワークの終端スイッチ・ノード間にデータ接続を確立する方法および該方法を実現するスイッチ・ノードを提供して、波長効率を向上させる。

【解決手段】 本方法は、ネットワーク層波長ルーティング (WR) プロトコルに関するスイッチ・ノードを含み、ネットワーク・トポロジに基づいて終端ノードのすべての可能な組合せについてネクスト・ホップ・スイッチ・ノードを求める。また本方法は、データ接続が確立される際、ネットワーク層波長分散 (WD) に関するスイッチ・ノードを必要とする。WRプロトコルは、ネットワークを通じて使用される経路を決定し、WDプロトコルは、スイッチ・ノード間の各リンクに波長を割り当てる。異なる光リンクについて波長は異なることができる。スイッチ・ノードは、光スイッチを備えた波長変換器またはデジタル電子スイッチを備えた光電変換器を含む。デジタル電子スイッチは信号フォーマットを提供することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 マッピング命令に従って複数の入力光ファイバ・セグメントに到着する光信号を複数の出力光ファイバ・セグメントに切り換える光スイッチ・ファブリックと、

前記光スイッチ・ファブリックに接続され、変換コマンドに従って、入来する光信号または前記切り換えられた光信号が占有する波長を変更する波長変換手段と、

前記光スイッチ・ファブリックおよび波長変換手段に接続され、ネットワーク層プロトコルを用いて他のスイッチ・ノードと制御情報を交換し、該制御情報に基づいて前記マッピング命令および変換コマンドを生成する制御ユニットと、
を備えるスイッチ・ノード。

【請求項2】 前記制御情報が、帯域外制御チャネルを用いて交換される請求項1に記載のスイッチ・ノード。

【請求項3】 前記帯域外制御チャネルが、光監視制御チャネルである請求項1に記載のスイッチ・ノード。

【請求項4】 前記制御情報が、帯域内制御チャネルを用いて交換される請求項1に記載のスイッチ・ノード。

【請求項5】 それぞれの光ファイバ・リンクを介してスイッチ・ノードを隣接スイッチ・ノードに接続する複数のポートを備え、それぞれのポートについて、それぞれのポートに接続された光方向性結合器と、それぞれの光方向性結合器およびそれぞれの複数の出力光ファイバの間に接続された光マルチプレクサと、それぞれの光方向性結合器およびそれぞれの複数の入力光ファイバの間に接続された光デマルチプレクサとを備える請求項1に記載のスイッチ・ノード。

【請求項6】 それぞれの光デマルチプレクサに接続され、それぞれのポートに接続されたスイッチ・ノードからの制御情報を搬送する少なくとも1つの追加の入力光ファイバ・セグメントと、

それぞれの光マルチプレクサに接続され、それぞれのポートに接続されたスイッチ・ノードに制御情報を搬送する少なくとも1つの追加の出力光ファイバ・セグメントと、

前記制御ユニットと、前記追加の入力および出力光ファイバ・セグメントとの間に接続された光電変換手段を備える請求項5に記載のスイッチ・ノード。

【請求項7】 前記制御ユニットが、プロセッサ、および該プロセッサによってアクセス可能なメモリ要素を有する請求項5に記載のスイッチ・ノード。

【請求項8】 前記メモリ要素が、ルーティング・テーブルおよび波長アベイラビリティ・テーブルを有しており、

前記ルーティング・テーブルは、終端スイッチ・ノードのすべての可能な対に関連するネクスト・ホップ・スイッチ・ノード・フィールドを含み、前記波長アベイラビリティ・テーブルは、それぞれの波長多重光ファイバ・

リンクによって任意のポートに接続されたスイッチ・ノードのアイデンティティと、それぞれの波長について、その波長が占有されているかまたは利用可能かの標示を含む請求項7に記載のスイッチ・ノード。

【請求項9】 前記ネクスト・ホップ・スイッチ・ノード・フィールドが、ルーティング・アルゴリズムを実行する制御ユニットによって生成される請求項8に記載のスイッチ・ノード。

【請求項10】 前記ルーティング・アルゴリズムが、Dijkstraアルゴリズムである請求項9に記載のスイッチ・ノード。

【請求項11】 前記スイッチ・ノードが、第1の終端スイッチ・ノードおよび第2の終端スイッチ・ノードによって識別される経路の前のスイッチ・ノードに接続され、前記制御ユニットが、

a) 前のスイッチ・ノードからメッセージを受信し、

b) 該メッセージがCONNECTION_REQUESTメッセージならば、前記波長アベイラビリティ・テーブルにアクセスして、現在および前のスイッチ・ノードの間のリンク上で、前記入力光ファイバ・セグメントのうちの1つに関連する利用可能な波長を識別し、

前記現在のスイッチ・ノードが第2の終端スイッチ・ノードならば、前記利用可能な波長に関連する入力光ファイバ・セグメントおよび出力光ファイバ・セグメントの間に前記利用可能な波長を用いて接続を確立するマッピング・コマンドを生成して、前記前のスイッチ・ノードにCONNECTION_CONFIRMメッセージを送信し、

前記現在のスイッチ・ノードが第2の終端スイッチ・ノードでないならば、前記ルーティング・テーブルにアクセスして、前記第1および第2の終端スイッチ・ノードに関連するネクスト・ホップ・スイッチ・ノード・フィールドの内容を求め、該ネクスト・ホップ・スイッチ・ノード・フィールドによって識別されるスイッチ・ノードにCONNECTION_REQUESTメッセージを送信し、

c) 前記メッセージがCONNECTION_CONFIRMメッセージならば、

前記利用可能な波長に関連する入力光ファイバ・セグメントおよび出力光ファイバ・セグメントの間に前記利用可能な波長を用いて接続を確立するマッピング・コマンドを生成し、前のスイッチ・ノードにCONNECTION_CONFIRMメッセージを送信するよう動作する請求項8に記載のスイッチ・ノード。

【請求項12】 入力光ファイバ・セグメントによって使用される利用可能な波長が、該入力光ファイバが前記光スイッチ・ファブリックを介して接続される出力光ファイバ・セグメントに関連する波長と異なるならば、前記変換コマンドが前記波長変換手段に送信される請求項11に記載のスイッチ・ノード。

【請求項13】前記制御情報が、ネットワークに関するトポロジ情報を含み、前記マッピング命令および変換コマンドが、前記トポロジ情報の変更の関数として自動的に再構成されることができる請求項1に記載のスイッチ・ノード。

【請求項14】それぞれの入力光信号がパケットのシーケンスからなり、それぞれのパケットが、ヘッダおよびペイロードを含んでおり、

前記入力光ファイバ・セグメントおよび制御ユニットに接続された、それぞれのパケットのヘッダを抽出する手段を前記スイッチ・ノードが備えており、

前記マッピング命令および変換コマンドが、前記ヘッダ内に含まれる情報に依存する請求項1に記載のスイッチ・ノード。

【請求項15】それぞれの波長を占有する入力光信号を電子信号に変換する第1の複数の光電変換器と、出力電子信号を、それぞれの波長を占有する出力光信号に変換する第2の複数の光電変換器と、

前記光電変換器に接続され、マッピング命令に従って入力電子信号を出力電子信号にスイッチングするデジタルスイッチ・ファブリックと、

前記デジタルスイッチ・ファブリックに接続され、ネットワーク層プロトコルを用いて他のスイッチ・ノードと制御情報を交換し、該制御情報に基づいて前記マッピング命令を生成する制御ユニットと、

を備えるスイッチ・ノード。

【請求項16】前記制御情報が、帯域外制御チャネルによって交換される請求項15に記載のスイッチ・ノード。

【請求項17】前記制御情報が、帯域内制御チャネルによって交換される請求項15に記載のスイッチ・ノード。

【請求項18】スイッチ・ノードを隣接スイッチ・ノードに接続する複数のポートを備え、それぞれのポートが、

それぞれのポートに接続された光方向性結合器と、それぞれの光方向性結合器および第1の複数の光電変換器のそれぞれとの間に接続された光マルチプレクサと、それぞれの光方向性結合器および第2の複数の光電変換器のそれぞれとの間に接続された光デマルチプレクサとを有する請求項15に記載のスイッチ・ノード。

【請求項19】それぞれの光デマルチプレクサに接続され、入来する制御情報を搬送する少なくとも1つの入力光ファイバ・セグメントと、

前記入力光ファイバ・セグメントおよび前記制御ユニットの間に接続された光電変換手段と、

それぞれの光マルチプレクサに接続され、出ていく制御情報を搬送する少なくとも1つの出力光ファイバ・セグメントと、

前記制御ユニットおよび出力光ファイバ・セグメントの

間に接続された光電変換手段と、

を備える請求項18に記載のスイッチ・ノード。

【請求項20】前記制御ユニットが、スイッチングに先だって前記入力電子信号を再フォーマットする手段を備える請求項15に記載のスイッチ・ノード。

【請求項21】前記制御ユニットが、スイッチングの後に前記出力電子信号を再フォーマットする手段を備える請求項15に記載のスイッチ・ノード。

【請求項22】光ネットワーク内の第1および第2の終端スイッチ・ノードの間にデータ接続を確立する方法であって、該ネットワークは、前記2つの終端スイッチ・ノードと、波長多重光リンクによって相互接続された複数の他のスイッチ・ノードとを有しており、

ゼロ以上の中間スイッチ・ノードを介して前記第1の終端スイッチ・ノードおよび第2の終端スイッチ・ノードの間でデータを伝送する一組のリンクおよび波長を有する経路を識別するステップと、

前記識別された経路のそれぞれの入力リンクおよびそれぞれの出力リンクに接続されたそれぞれの中間スイッチ・ノードにおいて、それぞれの入力リンクに到着する光信号をそれぞれの出力リンクに切り換え、それぞれの入力および出力リンク上で占有される波長が異なる場合には波長変換を実行するステップと、

を含む光ネットワーク内の第1および第2の終端スイッチ・ノードの間にデータ接続を確立する方法。

【請求項23】前記経路を識別するステップが、

a) それぞれのスイッチ・ノードにおいて、それぞれのネクスト・ホップ・スイッチ・ノードを、スイッチ・ノードのすべての可能な対に関連づけるステップと、

b) 前記第1の終端スイッチ・ノードが、前記第1および第2の終端スイッチ・ノードのその時の組合せに関連するネクスト・ホップ・スイッチ・ノードに、データ接続要求メッセージを送信するステップと、

c) 前記接続要求メッセージを受信した際、前記ネクスト・ホップ・スイッチ・ノードが、該ネクスト・ホップスイッチ・ノードを前記第1の終端スイッチ・ノードに接続するリンク上の波長を確保するステップと、

d) 前記ネクスト・ホップ・スイッチ・ノードを、現在のスイッチ・ノードに名前を変更するステップと、

e) 前記現在のスイッチ・ノードが前記第2の終端スイッチ・ノードに対応しない場合には、前記現在のスイッチ・ノードが、前記2つの第1および第2の終端ノードのその時の組合せに対応するネクスト・ホップ・スイッチ・ノードに、データ接続要求メッセージを送信するステップと、

f) 前記接続要求メッセージを受信した際、前記ネクスト・ホップ・スイッチ・ノードが、該ネクスト・ホップスイッチ・ノードを前記現在の終端スイッチ・ノードに接続するリンク上の波長を確保するステップと、

g) 前記現在のスイッチ・ノードが前記第2の終端スイ

ツチ・ノードに対応するまで、前記ステップd)、e)およびf)を繰り返すステップと、を含む請求項22に記載の光ネットワーク内の第1および第2の終端スイッチ・ノードの間にデータ接続を確立する方法。

【請求項24】前記ステップa)が、前記ネットワークに関するトポロジ情報に基づいてルーティング・アルゴリズムを実行するステップを含む請求項23に記載の光ネットワーク内の第1および第2の終端スイッチ・ノードの間にデータ接続を確立する方法。

【請求項25】前記トポロジ情報が、制御チャネルを用いてスイッチ・ノード間で交換される請求項24に記載の光ネットワーク内の第1および第2の終端スイッチ・ノードの間にデータ接続を確立する方法。

【請求項26】前記制御チャネルが、帯域内制御チャネルである請求項25に記載の光ネットワーク内の第1および第2の終端スイッチ・ノードの間にデータ接続を確立する方法。

【請求項27】前記制御チャネルが、それぞれのリンク上で少なくとも1つの波長を占有する帯域外制御チャネルである請求項25に記載の光ネットワーク内の第1および第2の終端スイッチ・ノードの間にデータ接続を確立する方法。

【請求項28】前記光信号を切り換えるステップが、前記第2の終端スイッチ・ノードに接続された中間スイッチ・ノードにおいて、それぞれの入ロリンク上で確保された波長を占有する光信号を、それぞれの出ロリンク上で確保された波長に切り換え、該入ロリンクに接続されたスイッチ・ノードに接続確認メッセージを送信するステップと、

他の中間スイッチ・ノードのそれぞれにおいて、前記接続確認メッセージを受信した際、それぞれの入ロリンク上で確保された波長を占有する光信号を、それぞれの出ロリンク上で確保された波長に切り換え、該入ロリンクに接続されたスイッチ・ノードに前記接続確認メッセージを送信するステップと、

を含む請求項22に記載の光ネットワーク内の第1および第2の終端スイッチ・ノードの間にデータ接続を確立する方法。

【請求項29】ネットワーク内の経路上のゼロ以上の中間スイッチ・ノードを介して第1の終端スイッチ・ノードおよび第2の終端スイッチ・ノードの間にデータ接続を確立することを可能にする波長分散プロトコルであって、

最初に前記データ接続を要求する際に、最初のCONNECTION_REQUESTメッセージが前記第1の終端スイッチ・ノードに送信され、

前記プロトコルが、前のスイッチ・ノードおよび/または次のスイッチ・ノードの間の経路にそれぞれの光リンクによって接続されたそれぞれの現在のスイッチ・ノード

において、

前記前のまたは次のスイッチ・ノードからメッセージを受信し、

前記メッセージがCONNECTION_REQUESTメッセージであって、前記現在のスイッチ・ノードが前記第1の終端スイッチ・ノードでないならば、該現在および前のスイッチ・ノード間のリンク上の利用可能な波長を識別して記憶し、

前記メッセージがCONNECTION_REQUESTメッセージであって、前記現在のスイッチ・ノードが前記第2の終端スイッチ・ノードならば、利用可能な波長を用いて接続を確立し、前記前のスイッチ・ノードにCONNECTION_CONFIRMメッセージを送信し、

前記メッセージがCONNECTION_REQUESTメッセージであって、前記現在のスイッチ・ノードが前記第2の終端スイッチ・ノードでないならば、前記次のスイッチ・ノードにCONNECTION_REQUESTメッセージを送信し、

前記メッセージがCONNECTION_CONFIRMメッセージならば、前に記憶した利用可能な波長を用いて接続を確立し、

前記メッセージがCONNECTION_CONFIRMメッセージであって、前記現在のスイッチ・ノードが前記第1の終端スイッチ・ノードでないならば、前記前のスイッチ・ノードにCONNECTION_CONFIRMメッセージを送信する波長分散プロトコル。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般に光スイッチングの分野に関し、より具体的には、光ネットワーク内で使用する光スイッチ・ノードに関する。本発明はまた、スイッチ・ノードの動作を管理するプロトコルに関する。

【0002】

【従来の技術】大容量ネットワークの開発は、例えばクライアントおよびサーバ間のように、リモート・サイト間に広帯域データ接続を確立する必要性によって推進されてきた。一般的には、そのようなネットワークの通信インフラストラクチャは、様々なリモート・サイトを包含する地理領域をサービス対象とする1つまたは複数の通信事業者によって提供される。通信事業者は、大容量接続を確立しようとする顧客に光ファイバ回線をリースすることができる。そして、この通信事業者のネットワークにおいて、光スイッチ・ノードは、所望の接続をサポートするように構成される。

【0003】普通、通信事業者は、その光ファイバ回線を長期間使用するものとしてリースする。したがって、大容量接続を提供する時点で確立されたスイッチの構成は、数ヶ月または数年にわたって所定の位置にとどまっ

ているものと予想される。したがって、ネットワーク内のスイッチは、コストまたは提供されるサービス品質にほとんど影響を与えずに手動で構成されることができる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ただし、サイズおよび/またはトポロジが常に進化しているネットワークを扱う際には、多数のスイッチを手動で構成することはできない。さらに、スイッチを手動で構成すると、ネットワーク内を伝送するトラフィックの帯域幅またはサービス要件の品質が時間で変化する状況、またはネットワークを介して緊急に新しい大容量接続を確立する必要がある場合に対処することができない。ネットワークのトポロジおよびトラフィック負荷の変化の関数として自動的に再構成可能なスイッチを提供することが望ましいが、そのような機能は現在利用可能ではない。

【0005】さらに、現在の光ネットワーク内でエンドツーエンドのデータ接続を確立する最も一般的な方法は、ネットワークの隅から隅まで手動で構成された経路上で同じ波長、例えば λ_x を使用することに依存する。この結果、新しい接続に対応する経路の一部が元の接続に対応する経路の一部と交差する場合には、エンドツーエンド(end-to-end、終端間)の波長として λ_x を使用して他のデータ接続を確立することが妨げられる。これによって、現在の光ネットワーク内での波長の使用が厳密に制限され、ネットワーク内の全体的な帯域幅効率が大幅に減少する。

【0006】したがって、当技術分野で、上記の欠点を克服する光スイッチ・ノードを提供する必要がある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、広義には光スイッチ・ファブリック(optical switch fabric)、波長変換ユニットおよび制御ユニットを備えるスイッチ・ノード(switching node)として説明されることができる。光スイッチ・ファブリックは、制御ユニットに接続され、該制御ユニットから受信するマッピング命令に従って一組の入力光ファイバ・セグメントに到着する光信号を一組の出力光ファイバ・セグメントに切り換えるのに使用される。波長変換ユニットは、光スイッチ・ファブリックに接続され、制御ユニットから受信する変換コマンドに従って、入来する光信号またはスイッチングされた光信号が占有する波長を変更するのに使用される。

【0008】制御ユニットは、ネットワーク層プロトコルを用いて他のスイッチ・ノードと制御情報を交換し、この制御情報に基づいてマッピング命令および変換コマンドを生成するのに使用される。このスイッチ・ノードによって、光データ信号の入力および出力波長は異なる波長を占有することができ、その結果多くの利点がもたらされるが、そのうちの1つは、光ネットワーク内での波長効率の向上という利点である。

【0009】制御情報は、光監視制御チャネル(optical supervisory channel)のような帯域外制御チャネルを用いて交換されるのが好ましい。

【0010】制御ユニットは、プロセッサ、および該プロセッサからアクセス可能なメモリ要素を備えるのが好ましい。メモリ要素は、ルーティング・テーブル(routing table)および波長アベイラビリティ・テーブル(wavelength availability table)を記憶するのが好ましい。ルーティング・テーブルは、すべての起こりうる一対の終端スイッチ・ノードに関連するネクスト・ホップ(next hop)スイッチ・ノード・フィールドを含む。波長アベイラビリティ・テーブルは、それぞれの波長多重光ファイバ・リンクによって任意のポートに接続されたスイッチ・ノードのアイデンティティ(identity)と、それぞれの波長について、その波長が占有されているのかまたは利用可能であるのかの標示を含む。

【0011】スイッチ・ノードは通常、第1の終端スイッチ・ノードおよび第2の終端スイッチ・ノードによって識別される経路の「前(previous)」のスイッチ・ノードに接続される。そのようなシナリオでは、制御ユニットは、前のスイッチ・ノードからメッセージを受信するように動作可能であるのが好ましい。

【0012】メッセージがいわゆるCONNECTION_REQUEST(接続要求)メッセージの場合、制御ユニットは、波長アベイラビリティ・テーブルにアクセスして、現在のスイッチ・ノードおよび前のスイッチ・ノードの間のリンク上の入力光ファイバ・セグメントのうちの1つに関連する利用可能な波長を識別するのが好ましい。

【0013】現在のスイッチ・ノードが第2の終端スイッチ・ノードならば、制御ユニットは、利用可能な波長に関連する入力光ファイバ・セグメントと、出力光ファイバ・セグメントのうちの1つとの間の接続を、利用可能な波長を用いて確立するマッピング・コマンドを生成し、前のスイッチ・ノードにCONNECTION_CONFIRM(接続確認)メッセージを送信するのが好ましい。

【0014】そうでない場合、すなわち現在のスイッチ・ノードが第2の終端スイッチ・ノードでないならば、制御ユニットは、ルーティング・テーブルにアクセスして、第1および第2の終端スイッチ・ノードに関連するネクスト・ホップ・スイッチ・ノード・フィールドの内容を求め、ネクスト・ホップ・スイッチ・ノード・フィールドによって識別されたスイッチ・ノードにCONNECTION_REQUESTメッセージを送信するのが好ましい。

【0015】他方、メッセージがいわゆるCONNECTION_CONFIRMメッセージの場合、制御ユニットは、利用可能な波長に関連する入力光ファイバ・セグメントと、出力光ファイバ・セグメントのうちの1つ

との間の接続を利用可能な波長を用いて確立するマッピング・コマンドを生成し、前のスイッチ・ノードにCONNECTION_CONFIRMメッセージを送信するのが好ましい。

【0016】入来する光信号が、ヘッダおよびペイロードを持つパケットから形成されるパケット・ベースのアーキテクチャに対応するために、スイッチ・ノードは、入力光ファイバ・セグメントおよび制御ユニットに接続された変換ユニットをさらに備えて、それぞれのパケットのヘッダを抽出することができる。この場合、制御装置によって生成されるマッピング命令および変換コマンドは、それぞれのパケットのヘッダ内に含まれる情報に依存する。

【0017】別の実施形態では、スイッチ・ノードは、第1の光電変換器の組および第2の光電変換器の組を備える。第1の光電変換器の組は、それぞれの波長を占有する入力光信号を電子信号に変換するのに使用され、第2の光電変換器の組は、出力電子信号を、それぞれの波長を占有する出力光信号に変換するのに使用される。

【0018】スイッチ・ノードはまた、光電変換器に接続されたデジタルスイッチ・ファブリックを備え、スイッチング命令に従って入力電子信号を出力電子信号にスイッチングする。最後に、スイッチ・ノードは、デジタルスイッチ・ファブリックおよび光電変換器に接続された制御ユニットを備える。制御ユニットは、ネットワーク層プロトコルを用いて他のスイッチ・ノードと制御情報を交換し、該制御情報に基づいてスイッチング命令を生成する。

【0019】この実施形態では、入力電子信号は再フォーマットされることができ、再フォーマットされた信号はスイッチングされ、その後第2の変換器の組によって変換され、その結果得られる光信号が所望のフォーマットになるという意味で、スイッチ・ノードはグルーミング(grooming)機能を提供する。これによって、ネットワーク内のエンド・ユーザの装置間の互換性が向上する。

【0020】本発明は、ネットワーク・レベルで第1の終端スイッチ・ノードおよび第2の終端スイッチ・ノード間のデータ接続を確立する方法として要約されることができる。ネットワークは、上記2つの終端スイッチ・ノードと、波長多重光リンクによって相互接続された他のスイッチ・ノードのグループとを有するものとして理解される。

【0021】本方法は、ゼロ以上の中間スイッチ・ノードを介して第1の終端スイッチ・ノードおよび第2の終端スイッチ・ノードの間でデータを伝送する一組のリンクおよび波長を有する経路を識別する第1のステップを含む。

【0022】本方法はまた、識別された経路内のそれぞれの入口リンクおよびそれぞれの出口リンクに接続され

たそれぞれの中間スイッチ・ノードにおいて、それぞれの入口リンクに到着する光信号をそれぞれの出口リンクに切り換え、それぞれの入口および出口リンク上で占有される波長が異なる場合には波長変換を実行するステップを含む。これによって、経路上で異なる波長を用いてデータ接続を確立することができるようになり、有利である。

【0023】また、本発明は、ネットワーク内の経路上のゼロ以上の中間スイッチ・ノードを介して第1の終端スイッチ・ノードおよび第2の終端スイッチ・ノード間のデータ接続を可能にする波長分散プロトコルとして要約されることができる。このプロトコルは、ネットワーク内の様々なスイッチ・ノードで実行される。

【0024】前のスイッチ・ノードおよび/または次のスイッチ・ノードの間の経路にそれぞれの光リンクによって接続されたそれぞれの現在のスイッチ・ノードにおいて、プロトコルは、前のまたは次のスイッチ・ノードからメッセージを受信する機能を有する。

【0025】メッセージがCONNECTION_REQUESTメッセージであって、現在のスイッチ・ノードが第1の終端スイッチ・ノードではない場合、プロトコルは、現在のスイッチ・ノードおよび前のスイッチ・ノードの間のリンク上の利用可能な波長を識別し、記憶するステップを含む。

【0026】また、メッセージがCONNECTION_REQUESTメッセージであって、現在のスイッチ・ノードが実際に第2の終端スイッチ・ノードである場合、プロトコルは、利用可能な波長を用いて接続を確立し、前のスイッチ・ノードにCONNECTION_CONFIRMメッセージを送信する。メッセージがCONNECTION_REQUESTメッセージであって、現在のスイッチ・ノードが実際に第2の終端スイッチ・ノードでない場合、次のスイッチ・ノードにCONNECTION_REQUESTメッセージを送信するステップを含む。

【0027】ただし、メッセージがCONNECTION_CONFIRMメッセージである場合、プロトコルは、前に記憶された利用可能な波長を用いて接続を確立するステップを含み、現在のスイッチ・ノードが第1の終端スイッチ・ノードでない場合、プロトコルは、前のスイッチ・ノードにCONNECTION_CONFIRMメッセージを送信するステップを含む。

【0028】プロトコルが意図したように動作するために、最初のCONNECTION_REQUESTメッセージは、データ接続を最初に要求した時点で第1の終端スイッチ・ノードに送信されるものとする。

【0029】このプロトコルに関与することで、スイッチ・ノードは、動的に割り当てられた波長を用いたデータ接続のエンドツーエンドの確立に自動的に関与することとなり、その結果、光ネットワークの帯域幅全体の効

率が改善され、入力および出力波長が同じであることをもはや必要としないより柔軟な保護スイッチングが提供される。

【0030】本発明の上記およびその他の特徴は、図面を参照する以下の具体的な実施形態の説明を読むことにより、当業者には明らかになるであろう。

【0031】

【発明の実施の形態】図1は、光ネットワーク内の他のスイッチ・ノードに接続する光スイッチ・ノード400を示す。本発明の好ましい実施形態によれば、スイッチ・ノード400は、それぞれの複数の波長多重光ファイバ・セグメント412、414、416、418に外部的に接続された複数のポート402、404、406、408を備える。光ファイバ・セグメント412、414、416、418は双方向セグメントであり、隣接スイッチ・ノード（図示せず）への入口および出口リンクの働きをする。代わりに、複数の光ファイバ・セグメント（例えば、入口用に1つ、出口用に1つ）によってスイッチ・ノード400を隣接スイッチ・ノードのそれぞれに接続することもできる。

【0032】光ファイバ・セグメント412、414、416、418は、好ましくは隣接スイッチ・ノードとの間でデータを搬送する。また、好ましくは光ファイバ・セグメント412、414、416、418は、専用の監視波長（光監視制御チャネル(optical supervisory channel)として知られている）を用いた隣接スイッチ・ノード間の制御リンクの働きをする。スイッチ・ノードへの制御リンクを確立するその他の方法は、専用の電子制御線の使用を含む。

【0033】スイッチ・ノード400は、4つのポートを有するものとして示されているが、2より大きい、または2に等しい任意の数のポートを有することができる。また、光ファイバ・セグメント412、414、416、418は、隣接スイッチ・ノードのポート間を接続するよう意図されているが、光ファイバ・セグメント412、414、416、418のうちの1つまたは複数を用いて顧客の構内に設置された装置（以下、顧客構内装置という）との間で個々のまたは多重化された光チャネルを伝送することができる、ということを理解されたい。この場合、スイッチ・ノード400はアド／ドロップ・ノード(add/drop node)と呼ばれる。

【0034】スイッチ・ノード400内で、ポート402、404、406、408は、それぞれの中間光ファイバ・セグメント422、424、426、428によってそれぞれの方向性結合器432、434、436、438に接続されている。中間光ファイバ・セグメント422、424、426、428は双方向結合器であり、好ましくはスイッチ・ノード400の内部との間でデータおよび制御信号の両方を搬送する。方向性結合器432、434、436、438は、反対方向に送信さ

れる2つの単方向波長多重信号を1つの双方向波長多重信号に結合する既知の構成要素である。

【0035】一方の方向では、それぞれの方向性結合器432、434、436、438は、それぞれの中間光ファイバ・セグメント422、424、426、428上を搬送される入来データおよび制御信号を抽出し、そのように抽出された入来信号を、それぞれの中間光ファイバ・セグメント442、444、446、448上のそれぞれの光デマルチプレクサ452、454、456、458に供給する。

【0036】逆の方向では、送出データおよび制御信号は、それぞれの中間光ファイバ・セグメント542、544、546、548上を、それぞれ的光マルチプレクサ552、554、556、558によって方向性結合器432、434、436、438に供給される。それぞれの方向性結合器432、434、436、438は、それぞれのポート402、404、406、408に接続されたそれぞれの中間光ファイバ・セグメント422、424、426、428上に、それぞれの送出データおよび制御信号を転送する。

【0037】それぞれの光デマルチプレクサ452、454、456、458は、波長に基づいてそれぞれの中間光ファイバ・セグメント442、444、446、448に到着する波長多重光信号を分離し、それぞれの複数の単一波長光ファイバ・セグメント462A～D、464A～D、466A～D、468A～D上に現れる個別の光信号のそれぞれの組を生成する。

【0038】図1は、光デマルチプレクサ452、454、456、458のそれぞれを4つの単一波長光ファイバ・セグメントに関連するものとして示しているが、光デマルチプレクサから出るセグメントの数は、それぞれの中間光ファイバ・セグメント442、444、446、448上のそれぞれの光デマルチプレクサに到着するそれぞれの波長多重光信号の波長の数に対応することができる、ということを理解されたい。

【0039】それぞれのデマルチプレクサから出る複数の単一波長光ファイバ・セグメントのうち、少なくとも1つが好ましくは制御情報を伝送するために使用され、残りのセグメントは、好ましくはスイッチングされるデータを伝送するのに使用される。2つのスイッチ・ノード間における専用の波長に乗せた制御情報の伝送は、「帯域外(out-of-band)」制御チャネルの確立として知られている。代わりに、「帯域内(in-band)」制御チャネルを、例えば2つのスイッチ・ノード間で伝送されるデータ内に制御を含んだヘッダ(control-laden header)を埋め込むことによって、ヘッダ部分に確立することができる。

【0040】図1の具体的な例では、単一波長光ファイバ・セグメント462A、464A、466A、468Aは帯域外制御チャネルを提供し、隣接スイッチ・ノード

ドから入来する制御情報を搬送する。それぞれの単一波長光ファイバ・セグメント462A、464A、466A、468Aは、それぞれの光電変換器472A、474A、476A、478Aに接続されている。それぞれの光電変換器472A、474A、476A、478Aは、それぞれの単一波長光ファイバ・セグメント462A、464A、466A、468A上の光制御信号を、それぞれの入力制御線482A、484A、486A、488A上の電子制御信号に変換する。入力制御線482A、484A、486A、488Aは、制御装置490に接続されている。

【0041】単一波長光ファイバ・セグメントの残りの組462B~D、464B~D、466B~D、468B~Dは、入来したデータを搬送し、それぞれの組は、制御可能な波長変換器472B~D、474B~D、476B~D、478B~Dのそれぞれのバンクに供給される。それぞれの波長変換器472B~D、474B~D、476B~D、478B~Dは、それぞれの単一波長光ファイバ・セグメント462B~D、464B~D、466B~D、468B~D上の光信号を、現在の波長から、制御装置490によってそれぞれの制御線（図示せず）上で送信される制御信号によって指定された波長（異なる波長であることが可能）に変換する。

【0042】波長変換器472B~D、474B~D、476B~D、478B~Dが実行する波長変換は、直接的な光学的方法を介して、または電子領域に変換した後、別の指定された波長の光領域に変換し直すことで、達成することができる。

【0043】波長変換器472B~D、474B~D、476B~D、478B~Dのそれぞれのバンクによって変換された信号は、単一波長入力光ファイバ・セグメントのそれぞれの組462B'~D'、464B'~D'、466B'~D'、468B'~D'上に現れる。これらの光ファイバ・セグメント462B'~D'、464B'~D'、466B'~D'、468B'~D'は、光スイッチ・ファブリック492のそれぞれの入力ポートに供給される。

【0044】光スイッチ・ファブリック492はまた、それぞれの複数の単一波長出力光ファイバ・セグメント562B~D、564B~D、566B~D、568B~Dに接続された複数の出力ポートを有する。光スイッチ・ファブリック492は、単一波長入力光ファイバ・セグメント462B'~D'、464B'~D'、466B'~D'、468B'~D'および単一波長出力光ファイバ・セグメント562B~D、564B~D、566B~D、568B~Dの間の1対1の光接続を制御可能に確立する回路を備える。データ接続は、制御線494を介して制御装置490から受信したマッピング命令に基づいて確立される。

【0045】様々な中間光ファイバ・セグメント44

2、444、446、448、542、544、546、548は様々な数の波長に対応することがあるので、光スイッチ・ファブリック492に接続された単一波長出力光ファイバ・セグメントの数が、光スイッチ・ファブリックに接続された単一波長入力光ファイバ・セグメントの数と異なることができる、ということは当業者には明らかであろう。

【0046】また、波長変換器のバンクを、光スイッチ・ファブリック492の入力部における単一波長入力光ファイバ・セグメント462B'~D'、464B'~D'、466B'~D'、468B'~D'ではなく、光スイッチ・ファブリック492の出力部の単一波長出力光ファイバ・セグメント562B~D、564B~D、566B~D、568B~Dに接続することもできる、ということも理解されよう。

【0047】制御装置490から出る複数の出力制御線582A、584A、586A、588Aは、スイッチ・ノード400を隣接スイッチ・ノードに結合するそれぞれの帯域外制御チャネルの一部を形成する。出力制御線582A、584A、586A、588Aは、それぞれ複数の光電変換器572A、574A、576A、578Aに接続されている。光電変換器572A、574A、576A、578Aは、制御装置490から出力された電子制御信号を、それぞれの単一波長光ファイバ・セグメント562A、564A、566A、568A上に現れる光信号に変換する。

【0048】制御装置490から送出された制御情報を搬送するそれぞれの単一波長光ファイバ・セグメント562A、564A、566A、568Aは、光マルチプレクサ552、554、556、558のそれぞれに接続されている。また、光マルチプレクサ552、554、556、558には、光スイッチ・ファブリック492からのスイッチングされた信号（すなわち送出データ）を搬送する単一波長出力光ファイバ・セグメント562B~D、564B~D、566B~D、568B~Dのそれぞれの組が接続されている。光マルチプレクサ552、554、556、558は、単一波長光ファイバ・セグメント562A~D、564A~D、566A~D、568A~Dのそれぞれのグループによって搬送された個々の光信号を、それぞれの中間光ファイバ・セグメント542、544、546、548によってそれぞれの方向性結合器432、434、436、438に搬送される波長多重光信号に結合する。

【0049】制御装置490は、好ましくはメモリ要素490Bに接続されたプロセッサ490Aを備える。プロセッサ490Aは、好ましくはソフトウェア・アルゴリズムを実行するマイクロ・プロセッサである。代わりに、プロセッサは、デジタル信号プロセッサまたはその他のプログラマブル論理装置であることができる。

【0050】メモリ要素490Bは、波長アベイラビリ

ティ (availability ; 利用可能性) 情報を波長アベイラビリティ・テーブルの形式で記憶する。図2の(A)は、本発明の好ましい実施形態による波長アベイラビリティ・テーブル700の構成を示す。波長アベイラビリティ・テーブル700は、PORT (ポート) 列710、WAVELENGTH (波長) 列720およびAVAILABILITY (利用可能性) 列730を有する。PORT列710は、スイッチ・ノード内のポートごとに1つのエントリを含む。図1のスイッチ・ノード400の場合、ポートの数、したがって波長アベイラビリティ・テーブル700のPORT列710内のエントリ数は4に等しい。ポートは、図1の参照番号、すなわち402、404、406および408で識別される。

【0051】所与のポートに対応するそれぞれの行について、そのポートを通してスイッチ・ノードに入来またはそこから送出されることのできる波長の数に従って、WAVELENGTH列720には複数のエントリが可能である。例えば、図1のスイッチ・ノード400の場合、WAVELENGTH列720にはポート402、404、406、408のそれぞれに対応する6つのエントリがある。WAVELENGTH列720内のそれぞれのエントリについて、対応する波長が対応するポートで現在占有されているか否かを示すエントリが、AVAILABILITY列730内にある。AVAILABILITY列730内のそれぞれのエントリを表すには2進値が適当である。

【0052】メモリ要素490Bはまた、ネットワークに関するトポロジ情報を記憶する。具体的には、メモリ要素490Bは、光ファイバ・セグメント412、414、416、418のうちの1つを介してスイッチ・ノード400に直接接続されているスイッチ・ノードのアイデンティティ (identity) を記憶する。メモリ要素490Bはまた、ネットワークの残りに関する同様のトポロジ情報 (これは、隣接スイッチ・ノードによってスイッチ・ノード400に送信される) を記憶する。スイッチ・ノード400内のプロセッサ490Aは、メモリ要素490B内に記憶されたトポロジ情報を用いて、スイッチ・ノード400をルートとするネットワーク全体のトポロジ・ツリーを構築する。その後、プロセッサ490Aはこのツリーを用いて、やはりメモリ要素490Bに記憶されるルーティング・テーブルを構築する。

【0053】図2の(B)は、本発明の好ましい実施形態によるルーティング・テーブル600を示す。ルーティング・テーブル600は、好ましくは4つのフィールド、すなわち、送信元スイッチ・ノード (SSN) フィールド610、宛先スイッチ・ノード (DSN) フィールド620、トラフィック特性情報 (TCI) フィールド630およびネクスト・ホップスイッチ・ノード (NHSN) フィールド640を有する。

【0054】SSNおよびDSNフィールド610、6

20内のエントリは、ネットワーク内の終端スイッチ・ノードのすべての可能な組合せを表す。TCIフィールド630は、ルーティング・テーブル内の対応する行のDSNフィールド620内のエントリによって識別されたスイッチ・ノードから受信したトラフィックの特性情報を含む。このようにして、TCIフィールド630は、それぞれの宛先スイッチ・ノードのそれぞれの光インタフェースによって許容可能な信号フォーマット (signaling format) を識別する。

【0055】通常、少なくとも1つの中間スイッチ・ノードも通過することなく送信元スイッチ・ノードから宛先スイッチ・ノードにデータを送信することはできない。したがって、スイッチ・ノード400は一般に、送信元および宛先の間に位置する一連の中間スイッチ・ノードのうちの1つである。宛先スイッチ・ノードへの経路上の次の中間ノードは、ネクスト・ホップ・スイッチ・ノード (next hop switching node) として知られ、これは、ルーティング・テーブルのNHSNフィールド640で識別される。ネクスト・ホップ・スイッチ・ノードは、送信元スイッチ・ノード、宛先スイッチ・ノード、ネットワーク・トポロジおよびトポロジ内の現在のスイッチ・ノードの位置、の関数である。したがって、ルーティング・テーブルは、ネットワーク内のスイッチ・ノードごとに異なり、基本的に静的であり、ネットワークのトポロジが変更される時にのみ変化する。

【0056】動作時には、ネットワーク内の様々なスイッチ・ノードによって制御情報が送受信され解釈される方法は、ネットワーク層の波長ルーティング (WR : wavelength routing) プロトコルによって管理される。ネットワーク内の経路上で送信元スイッチ・ノードから宛先スイッチ・ノードにデータを転送するエンドツーエンドの経路は、それぞれのスイッチ・ノードをネットワーク層の波長分散 (WD : wavelength distribution) プロトコルに関与させることで確立することができる。これら2つのプロトコルについて以下に説明する。

【0057】WRプロトコルは、それぞれのスイッチ・ノード内のプロセッサに、図5の流れ図に示すようなアルゴリズムを実行させることで実現される。具体的には、図5は、情報伝搬ステップ1010、情報記憶ステップ1020および情報処理ステップ1030を含む。

【0058】最初に、伝搬ステップ1010は、制御装置490がトポロジ情報およびトラフィック特性情報を適切な制御チャネル (帯域外または帯域内) を介して隣接スイッチ・ノードに送信するステップからなる。トポロジ情報は、スイッチ・ノード400のアイデンティティと、スイッチ・ノード400に隣接し、そのポートのうちの1つに接続されたそれぞれのスイッチ・ノードのアイデンティティとを有する。トラフィック特性情報は、それぞれのポートに対して許容可能な信号のタイプ (signaling type) のリストからなることができる。こ

のリストの内容は、エンド・ユーザのフォーマット要件によって調整することができる。

【0059】さらに、伝搬ステップの1010の別の部分として、スイッチ・ノード400は、任意の隣接スイッチ・ノードから受信した制御情報を、他のすべての隣接スイッチ・ノードに中継する。スイッチ・ノード400によって送信される制御情報を、例えば10秒の定期的な間隔で送信することができ、または代わりに、受信した制御情報に変更があった時にのみ送信することもできる。

【0060】それぞれのスイッチ・ノードは、それ自身の制御情報だけでなく、その隣接ノードの制御情報をも送信するので、それぞれのスイッチ・ノードは、ネットワーク全体のトポロジと、該ネットワーク内の各スイッチ・ノードに関連する許容可能な信号タイプとを、帰納的に認識することとなる。

【0061】記憶ステップ1020は、制御装置490が、それ自身のトポロジおよびトラフィック特性情報と、隣接スイッチ・ノードから受信したそれらの情報とを、メモリ要素490B内に記憶するステップからなる。

【0062】最後に、処理ステップ1030は、スイッチ・ノード400内の制御装置490が、メモリ要素490B内に記憶されるルーティング・テーブルを、記憶ステップ1020で記憶されたネットワーク・トポロジ情報およびトラフィック特性情報の関数として定期的にまたはトポロジの変更後に生成するステップからなる。図2の(B)に示すルーティング・テーブルを参照すると、ルーティング・テーブル600の特定の行のNHSNフィールド640を埋めるために、スイッチ・ノードのプロセッサ内のソフトウェアは、ネクスト・ホップ・ルーティング・アルゴリズム、例えば周知のDijkstraアルゴリズム(J. Moy著、Network Working Group RFC 1583、P. 142-160を参照のこと。ここで、この文献を参照により取り入れる)を実行する。Dijkstraアルゴリズムがルーティング・テーブル600内の所与の行について適切なネクスト・ホップ・スイッチ・ノードを生成しない場合、この事実を、NHSNおよびTCIフィールド630、640内の対応するエントリをそれぞれ空白にすることで知らせることができる。

【0063】WDプロトコルは、それぞれのスイッチ・ノード内のプロセッサが図6の流れ図に示すようなアルゴリズムを実行することで実現される。本発明の波長分散(WD)プロトコルは、INITIAL_CONNECTION_REQUEST(初期接続要求)メッセージ、CONNECTION_REQUEST(接続要求)メッセージ、CONNECTION_CONFIRM(接続確認)メッセージおよびCONNECTION_DENY(接続拒否)メッセージを含むいくつかのタ

イプのメッセージの交換および解釈からなる。

【0064】図6の流れ図、より具体的にはステップ1610を参照すると、所与のスイッチ・ノード内のプロセッサは、メッセージの受信を待つ。メッセージを受信すると、ステップ1620で、プロセッサは、そのメッセージがINITIAL_CONNECTION_REQUESTメッセージであるか否かを検査する。INITIAL_CONNECTION_REQUESTメッセージは通常、例えば送信元スイッチ・ノードに接続された顧客構内装置によって生成される。

【0065】受信したメッセージが実際にINITIAL_CONNECTION_REQUESTメッセージならば、送信元および宛先スイッチ・ノードと、送信元スイッチ・ノードに接続されたインタフェースによって使用される信号フォーマット(例えば、TCIS)とを指定する。ステップ1630で、プロセッサは、TCISが宛先スイッチ・ノードに接続されたインタフェースによって許容される信号フォーマットのうちのいずれかに一致するか否かを検査する。TCIが一致しなければ、送信元スイッチ・ノードの顧客は、接続を確立することができない旨の通知を受ける。

【0066】他方、TCIが一致したならば、プロセッサは、送信元および宛先スイッチ・ノードに関連するルーティング・テーブルの行のNHSNフィールド内のエントリを調べ、その後、そのエントリによって識別されたスイッチ・ノードにCONNECTION_REQUESTメッセージを送信する。CONNECTION_REQUESTメッセージは、好ましくは送信元スイッチ・ノードを識別するSSNパラメータと、宛先スイッチ・ノードを識別するDSNパラメータとを含む。CONNECTION_REQUESTメッセージの意図された受信先は、送信元ノードおよび宛先ノードの間の経路上の「次の」スイッチ・ノードとして知られている。

【0067】ステップ1620で受信が確認されたメッセージが、INITIAL_CONNECTION_REQUESTメッセージではなくCONNECTION_REQUESTメッセージであることもある(INITIAL_CONNECTION_REQUESTメッセージの後で送信元スイッチ・ノードから送信されたCONNECTION_REQUESTメッセージのように)。CONNECTION_REQUESTメッセージは、送信元スイッチ・ノードおよび宛先スイッチ・ノードの間の経路上の「前の」スイッチ・ノードから現在のスイッチ・ノードが受信するものとする。

【0068】CONNECTION_REQUESTメッセージが受信されると、ステップ1640で、前のスイッチ・ノードおよび現在のスイッチ・ノードの間に空きの波長があるか否かが検査される。空きの波長がない場合、ステップ1650に示すように、プロセッサは、CONNECTION_DENYメッセージを前のスイ

ッチ・ノードに送信する。

【0069】他方、空きの波長がある場合、ステップ1660で、現在のスイッチ・ノード内のプロセッサに接続されたメモリ要素内に、この空きの波長が記憶される。続けてステップ1670で、現在のスイッチ・ノードが実際に宛先スイッチ・ノードであるか否かが検査される。現在のスイッチ・ノードが実際に宛先スイッチ・ノードでなければ、ステップ1680に示すように、CONNECTION_REQUESTメッセージは経路上の次のスイッチ・ノードに送信される。

【0070】現在のスイッチ・ノードが実際に宛先スイッチ・ノードであるならば、ステップ1690で、現在のスイッチ・ノードの光スイッチ・ファブリックを介してデータ接続が確立される。これは、制御装置490が光スイッチ・ファブリック492に適切なマッピング命令を提供することによって達成されることができる。この接続によって、空きの波長（ステップ1660の実行後にメモリ要素に記憶された）に関連する単一波長光ファイバと、宛先スイッチ・ノードに接続された顧客構内装置に接続する光ファイバ・セグメントとが結合される。

【0071】顧客構内装置が占有する波長が、メモリ要素内に記憶された空きの波長と異なる場合には、該空きの波長に関連する波長変換器に適切な命令を送信しなければならない。さらに、波長アベイラビリティ・テーブルが、「空きの」波長が現在のスイッチ・ノードおよび前のスイッチ・ノードを結合する対応するポート上でもはや利用可能でないことを反映するよう更新される。

【0072】接続が確立された後、ステップ1700は、前のスイッチ・ノード（今では空きの波長によって現在のスイッチ・ノードに光学的に接続されている）にCONNECTION_CONFIRMメッセージが送信されることを示している。CONNECTION_CONFIRMメッセージは、空きの波長を指定する。

【0073】再びステップ1620を参照すると、受信メッセージがCONNECTION_DENYメッセージの場合、ステップ1730に示すように、とられるべきアクションは、現在のスイッチ・ノードが送信元スイッチ・ノードか否かに依存する。現在のスイッチ・ノードが送信元スイッチ・ノードでないならば、CONNECTION_DENYメッセージは、ステップ1650に示すように前のスイッチ・ノードに返送される。したがって、CONNECTION_DENYメッセージは、最終的には送信元スイッチ・ノードに到達し、ここで、ステップ1740に従って、顧客は、接続を確立することができないということを知らされる。

【0074】最後に、ステップ1620で受信が確認されたメッセージがCONNECTION_CONFIRMメッセージの場合、ステップ1710に示すように、とられるべきアクションは、現在のスイッチ・ノードが

送信元スイッチ・ノードか否かに依存する。現在のスイッチ・ノードが実際に送信元スイッチ・ノードであるならば、顧客構内装置に接続された光ファイバ・セグメントと、送信元スイッチ・ノードおよび次のスイッチ・ノードの間でデータを搬送する単一波長光ファイバ・セグメントとの間に接続が確立される（ステップ1720）。

【0075】現在のスイッチ・ノードが実際に送信元スイッチ・ノードでないならば（ステップ1690）、現在のスイッチ・ノードと前および次のスイッチ・ノードとの間でデータを搬送する単一波長光ファイバ・セグメントをつなぐ接続が確立される。さらに、ローカルに記憶された波長アベイラビリティ・テーブルが、現在のスイッチ・ノードと前および次のスイッチ・ノードとの間でデータを搬送する光ファイバ・セグメント上の新しい波長の占有を反映するよう更新される。いずれにしても、必要に応じて波長変換命令が適切な波長変換器に送信される。ステップ1700に示すように、その後CONNECTION_CONFIRMメッセージが前のスイッチ・ノードに送信される。

【0076】WDプロトコルを用いてエンドツーエンドの接続が確立される方法を示す例について図3を参照しながら説明する。図3は、複数の光ファイバ・セグメント826～858を介してメッシュ行列パターンで接続された複数のスイッチ・ノード802～824を有する光ネットワーク800を示す。スイッチ・ノード802は、波長 λ_S を使用する光ファイバ・セグメント862を介して顧客構内装置（CPE: customer premises equipment）860に接続されている。CPE860は、TCISで表すことができる信号フォーマットを使用する。スイッチ・ノード824は、波長 λ_F を使用する光ファイバ・セグメント866を介してCPE864に接続されている。CPE864は、組{TCIF}で識別することのできる信号フォーマットを許容する。

【0077】スイッチ・ノード802～824は、本発明のWDプロトコルに参与する。したがって、それぞれのスイッチ・ノードにおいてルーティング・テーブルが生成される。このルーティング・テーブルはそれぞれのスイッチ・ノードについて異なるが、ネットワークのトポロジが変化するまでは静的である。図を見やすくし、一般性を失わないために、図7の（A）は、送信元スイッチ・ノードがスイッチ・ノード802として指定され、宛先スイッチ・ノードがスイッチ・ノード824として指定されている行に対応するスイッチ・ノード802で生成されたルーティング・テーブル900の一部を示す。具体的には、TCI列630内のエントリは、スイッチ・ノード824に接続されたCPE864が、リストされたフォーマットで、すなわちOC-4、OC-32、OC-192およびギガビット・イーサネット（登録商標）（GBE）でデータを受信することができ

る、ということを示す。NHSN列640内のエントリは、スイッチ・ノード802および824を結ぶ経路のネクスト・ホップ・スイッチ・ノードがスイッチ・ノード808であることを示す。

【0078】同様に、図7の(B)は、スイッチ・ノード808のメモリ要素内に記憶されたルーティング・テーブル950の例示の行を示す。この行もまた、スイッチ・ノード802および824を含む送信元宛先の組合せに対応する。ルーティング・テーブル950がスイッチ・ノード808の観点から生成され、したがって、NHSN列640内のエントリは、スイッチ・ノード802内に記憶されたルーティング・テーブル900のNHSN列640内のエントリとは異なる。図7の(B)の例では、NHSN列640内のエントリはスイッチ・ノード810を指定する。同様に、スイッチ・ノード810、816および818内に記憶されるルーティング・テーブル内のNHSN列640内の対応するエントリは、それぞれスイッチ・ノード816、818および824を示すことができる。

【0079】このように、図3の太字の実線で示すように、スイッチ・ノード802および824の間には光ファイバ・セグメント830、836、842、848および854からなる潜在的な経路が存在する。同様に、送信元スイッチ・ノードおよび宛先スイッチ・ノードのすべての組合せの間に潜在的な経路が存在する。

【0080】WDプロトコルのメッセージ交換方式について、図3のネットワークおよび図6の流れ図を引き続き参照しながら説明する。最初に、CPE860およびCPE864の間にエンドツーエンドのデータ接続を確立したいという欲求が、任意の適した方法で送信元スイッチ・ノード802に伝えられる。すなわち、INITIAL_CONNECTION_REQUESTメッセージがスイッチ・ノード802によって受信される。

【0081】WDプロトコルに従って(ステップ1630で)、スイッチ・ノード802は、CPE860の信号フォーマットすなわちTCISを、CPE864に関連する許容される信号フォーマットの組、すなわち組

{TCIF}と比較する。TCIの一致が検出されると、送信元スイッチ・ノード802内のプロセッサは、そのルーティング・テーブル(図7の(A))を参照して、特定の送信元宛先スイッチ・ノードの組合せに対応する行のNHSNフィールド内のスイッチ・ノードのアイデンティティを抽出する。このケースでは、このようにして識別されたスイッチ・ノードはスイッチ・ノード808である。(TCISが組{TCIF}の要素でない場合、接続要求が拒否されることに留意されたい。図6のステップ1740に示すように、送信元スイッチ・ノード802内の制御装置は、エンド・ユーザに接続要求が拒否されたことを通知するアクションをとる。)その後、送信元スイッチ・ノード802内のプロセッサ

は、CONNECTION_REQUESTメッセージを定式化し、それをスイッチ・ノード808に送信する(ステップ1680)。CONNECTION_REQUESTメッセージは、スイッチ・ノード802を送信元スイッチ・ノードとして識別し、スイッチ・ノード824を宛先スイッチ・ノードとして識別している。CONNECTION_REQUESTメッセージは、送信元スイッチ・ノード802によって適切な帯域外または帯域内制御チャネルを介してスイッチ・ノード808に送信される。

【0082】図6のステップ1640に従って、スイッチ・ノード808は、波長アベイラビリティ・テーブルを参照し、スイッチ・ノード808を前のスイッチ・ノード(この例では、送信元スイッチ・ノード802)に結合する光ファイバ・セグメント830上に空きの波長があるか否かを判断する。その結果、いずれかの波長が見つかったならば、CONNECTION_REQUESTメッセージのコピーをスイッチ・ノード810に送信し(ステップ1680)、接続要求が経路上をさらに伝搬する。波長が見つからなかった場合には、接続要求は拒否され、CONNECTION_DENYメッセージが送信元スイッチ・ノード802に返送される(ステップ1650)。ここでは、スイッチ・ノード808は宛先スイッチ・ノード824ではないので、接続はまだ確立されない。

【0083】送信されたCONNECTION_DENYメッセージは、接続要求が拒絶されたこと、およびその理由(このケースでは、光ファイバ・セグメント830上に利用可能な波長が見つからなかったこと)を示す適切なフォーマットを有する。図6のステップ1730および1740では、CONNECTION_DENYメッセージを受信すると、送信元スイッチ・ノード802内の制御装置は、CPE860のエンド・ユーザに接続要求が拒否されたことを通知するアクションをとることができる。

【0084】スイッチ・ノード810、816、818のそれぞれは、同じアルゴリズムを実行し、よって基本的にスイッチ・ノード808と同じタスクを実行する。したがって、光ファイバ・セグメント836、842および848のそれぞれで波長が利用可能であれば、CONNECTION_REQUESTメッセージは最終的に宛先スイッチ・ノード824によって受信される。同様に、スイッチ・ノード810、816、818のうちの1つに返送されたCONNECTION_DENYメッセージは、送信元スイッチ・ノード802に転送され、ここでエンド・ユーザに接続要求が拒否されたことを通知するアクションをとることができる。

【0085】TCISが組{TCIF}に属し、適切な波長の経路が利用可能であるとすると、送信元スイッチ・ノード802によって送信されたCONNECTION

N_REQUESTメッセージは、「中間」スイッチ・ノード808、810、816および818を介して最終的に宛先スイッチ・ノード824に到達する。宛先スイッチ・ノード824は、CONNECTION_REQUESTメッセージ内のDSNパラメータによって識別されるので、宛先スイッチ・ノード824は、自身が送信元スイッチ・ノード802から導かれる潜在的な経路上の最後のスイッチ・ノードであることを知る。図3の例示のシナリオでは、最終的な宛先は、波長 λ_F で光信号を搬送するよう構成された光ファイバ・セグメント866を介して宛先スイッチ・ノード824に接続されたCPE864である。CONNECTION_REQUESTメッセージに回答して、宛先スイッチ・ノード824内のプロセッサは、宛先スイッチ・ノード824および中間スイッチ・ノード818を接続する光ファイバ・セグメント854上に空きの波長を見つけようとする。

【0086】そのような波長、例えば λ_I が見つかったと、データ接続が確立される(ステップ1720)。具体的には、制御装置は、 λ_I に関連する単一波長入力光ファイバ・セグメント上の光信号を、顧客構内装置864に接続された光ファイバ・セグメント866に切り換えるマッピング命令を、その光スイッチ・ファブリックに送信する。さらに、制御装置は、波長 λ_I で光信号を搬送する単一波長入力光ファイバ・セグメントに関連する波長変換器に、波長 λ_F の値を送信する。 λ_I が λ_F と異なる場合には、その波長変換器は、波長変換を実行する必要がある。さらに、宛先スイッチ・ノード824は、新たに確立されたデータ接続に関する情報で、その波長アベイラビリティ・テーブルを更新する。すなわち、適切な行のAVAILABILITYフィールド730内のエントリには、光ファイバ・セグメント854上の波長 λ_I が使用されている、すなわち利用可能でないということを示す値が与えられる。

【0087】光スイッチ・ファブリックにデータ接続を設定するように命令した後で、図7のステップ1700に記述されたWDプロトコルは、宛先スイッチ・ノード824が中間スイッチ・ノード818にCONNECTION_CONFIRMメッセージを送信するよう要求する。CONNECTION_CONFIRMメッセージは、宛先スイッチ・ノード824内の光スイッチ・ファブリックを介して接続された単一波長入力光ファイバ・セグメントに関連する波長(波長変換前の波長)である波長 λ_I を指定する。

【0088】宛先スイッチ・ノード824から送信されたCONNECTION_CONFIRMメッセージを受信すると、中間スイッチ・ノード818自体が、波長 λ_I の信号が光ファイバ・セグメント854上で搬送される単一波長出力光ファイバと、前に記憶された空きの波長(例えば、 λ_J)の信号が光ファイバ・セグメント

848上で搬送される単一波長入力光ファイバとの間に接続を確立する。 λ_I が λ_J に等しくない場合、対応する波長変換器は、適切な波長変換を実行するように命令される。次いで、中間スイッチ・ノード818内の制御装置は、自分の波長アベイラビリティ・テーブルを更新し、その後、中間スイッチ・ノード816にCONNECTION_CONFIRMメッセージを送信する。このメッセージは、 λ_J を指定する(λ_I でも λ_F でもなく)。

【0089】CONNECTION_CONFIRMメッセージのこの後戻りは、このメッセージが送信元スイッチ・ノード802に受信されるまで継続する。図7に関連して記述されるアルゴリズムのステップ1720では、送信元スイッチ・ノード802内の制御装置が、CPE860に接続された波長 λ_S を占有する光ファイバ・セグメント862と、その信号が光ファイバ・セグメント830によって波長 λ_K で搬送される単一波長光ファイバ・セグメントとの間の接続を確立することを目的に、その光スイッチ・ファブリックにマッピング命令を送信する。 λ_K が λ_S と異なる場合、波長変換コマンドが、光ファイバ・セグメント862に関連する波長変換器に送信される。

【0090】以上の説明から、光ファイバ・セグメント830、836、842、848、854からなる送信元および宛先スイッチ・ノード802、824間の経路が、異なる波長を占有することができる、ということがわかる。WRプロトコルに関連する様々なスイッチ・ノードのおかげで自動的に交換されるトポロジおよびトラフィック特性情報の結果として、新しい接続が要求されるたびに、上記の波長分散(WD)プロトコルによって動的なやり方で波長を特定の光ファイバ・セグメントに割り当てることができる。したがって、利用可能なネットワーク帯域幅がより効率的に使用され、スイッチ・ノードを構成するのに必要な時間、労力およびコストが大幅に低減される。

【0091】WDプロトコルについての上記の説明では、送信元スイッチ・ノードが宛先スイッチ・ノードに一方的にデータを送信する場合を扱っているが、本発明は、一方のスイッチ・ノードが他方のスイッチ・ノードからデータを取り出す場合にも適用される。この逆の単方向通信では、2つの終端スイッチ・ノードを「クライアント」(データを受信する)スイッチ・ノード、「サーバ」(データをクライアントに送信する)スイッチ・ノードと呼ぶことがより適当である。

【0092】図3の例示のネットワークおよび提示された経路を考察すると、クライアントがスイッチ・ノード802に接続され、サーバがスイッチ・ノード824に接続されているものとみることができる。クライアント802は、光ファイバ・セグメント862を介してCPE860に接続され、サーバ824は、光ファイバ・セ

グメント866を介してデータベース864に接続されている。ここでも、上記のWRプロトコルは、ネットワーク内の様々なスイッチ・ノードが制御情報を交換し、処理するための機構である。ただし、サーバ824からクライアント802へのデータ転送（前述した送信元宛先の例のデータ・フローの方向とは逆の方向である）に対応するために、WDプロトコルは多少変更される。

【0093】具体的には、図6のステップ1630（TCI比較が実行される）は、クライアント側スイッチ・ノードでは実行することができないが、これは、サーバから送信される信号タイプが不明なことがあるためである。したがって、このステップは、CONNECTION_REQUESTメッセージがサーバ側スイッチ・ノードで受信されるまで延期され、CONNECTION_REQUESTメッセージが受信された際に、このステップがサーバ側スイッチ・ノードによって実行される。

【0094】経路選択は、ルーティング制御アルゴリズムを実行するスイッチ・ノードによって達成されるが、送信元スイッチ・ノードすなわちクライアントが、エンド・ポイントの特定の組合せについてネットワークを通る所望の経路を予め設定することができる、ということも理解すべきである。言い換えると、それぞれのスイッチ・ノード内のルーティング・テーブルのNSHNエントリを事前に推測することができる。WDプロトコルに従って経路内のそれぞれのセグメントに波長が動的に割り当てられるという利点があるので、手動によって経路を予め選択するという事も許容される。このように、処理ステップを省略して、単にトラフィック特性情報を分散および収集するためだけにWRプロトコルを使用することができる。

【0095】また、2つの終端スイッチ・ノード間に双方向のデータ接続を提供することも本発明の範囲内である。片方向通信の波長の割り当ては、上記の送信元宛先のシナリオのアルゴリズムに従うことができ、その逆方向の波長の割り当ては、上記のクライアントサーバのシナリオのアルゴリズムに従うことができる。

【0096】さらに、エンド・ポイントにおける信号タイプが一致はしないが「互換性のある（compatible）」、というような場合にまで本発明を拡張して適用することができる。例えば、宛先スイッチ・ノードはOC-48信号を許容するが、送信元スイッチ・ノードがOC-12信号を送信した場合、終端スイッチ・ノード、または2つの終端スイッチ・ノード間の経路上の中間スイッチ・ノードのうちの1つに、OC-12信号をグルーミング（grooming）するタスクを割り当て、OC-12信号がOC-48信号になるようにすることができる。この場合、OC-12およびOC-48の信号タイプは、互換性を持つと言われる。

【0097】したがって、すべての波長が利用可能でな

いか、またはTCISが組[TCIF]のどの要素とも互換性を持たない場合に、WDプロトコルを変更して、CONNECTION_DENYメッセージが送信されるようにすることができる。それぞれのスイッチ・ノード内で、信号タイプの互換性のある対（組合せ）のテーブル（これを、それぞれのメモリ要素内に記憶することができる）を参照することにより、互換性を判断することができる。

【0098】所望のグルーミング機能を提供するには、スイッチ・ノードの設計を変更する必要がある。図4は、本発明の代替の実施形態によるスイッチ・ノード900を示す。スイッチ・ノード900は、以下に述べる一定の相違点を除いてスイッチ・ノード400と同じである。

【0099】スイッチ・ノード900は、それぞれのデマルチプレクサ452、454、456、458および「グルーミング・プロセッサおよびスイッチ」992の間に接続された光電変換器のグループ902B~D、904B~D、906B~D、908B~Dを備える。変換器902B~D、904B~D、906B~D、908B~Dは、それぞれの単一波長入力光ファイバ462B~D、464B~D、466B~D、468B~D上の受信された光データ信号を、グルーミング・プロセッサ992に供給される電気信号に変換するのに使用される。光電変換器902B~D、904B~D、906B~D、908B~Dおよび「グルーミング・プロセッサおよびスイッチ」の間に、好ましくはアナログデジタル変換器（図示せず）が提供される。

【0100】「グルーミング・プロセッサおよびスイッチ」992は、好ましくはデジタル電子信号を、ある信号タイプから別の信号タイプに変換するようプログラミングされた高速デジタル信号プロセッサである。また、「グルーミング・プロセッサおよびスイッチ」992は、それぞれのグルーミングされた電子信号を、複数の電子信号線962B~D、964B~D、966B~D、968B~Dのうちの任意の1つに接続するデジタル・クロス・コネクト機能を提供する。

【0101】電子信号線のグループ962B~D、964B~D、966B~D、968B~Dは、それぞれの光電変換器のグループ972B~D、974B~D、976B~D、978B~Dを介してそれぞれの光マルチプレクサ552、554、556、558に接続されている。光電変換器は、それぞれの電子信号を、それぞれの制御線（図示せず）を介して制御装置490から制御可能な波長の光信号に変換する。このために、図4のスイッチ・ノードの設計には波長変換器が明示的には必要でないが、これは、その機能が光電変換器972B~D、974B~D、976B~D、978B~Dにおいて暗黙的なものであることによる。

【0102】本発明の別の実施形態によれば、図1およ

び図4のスイッチ・ノードとその動作を制御するWRおよびWDプロトコルを用いて、メッシュ・ネットワーク内で信頼できる保護機能を実現することができる。より具体的には、特定の光ファイバ・リンク上でデータ接続が確立され、そのリンクが障害になった場合、送信元スイッチ・ノードは新しいデータ接続要求を起動することができる。それぞれのスイッチ・ノードはWRプロトコルに参与しているので、故障したリンクに起因するネットワーク・トポロジの変更の結果、それぞれのルーティング・テーブル内のNHSNの値が自動的に違う値となる。

【0103】障害が検出された後に新しい接続要求をプログラミングすることができ、この要求は、本発明のWDプロトコルによって扱われ、その結果、元は障害状態にあったデータ接続について新しい信頼できる経路が設定される、ということは当業者には明らかであろう。本明細書に記載したWRおよびWDプロトコルに依存することの別の利点は波長効率の良さである。これは、保護波長を前もって確保する必要がなく、単一光ファイバ・セグメントによって占有される異なる波長について別々に再ルーティングする必要もないからである。後者の機能によって、ネットワーク内に容量がある場合は常に個々の波長の保護が可能であるので、これは有利である。

【0104】本発明のさらに別の代替実施形態によれば、図1のスイッチ・ファブリック492と同様の全光学スイッチ・ファブリック (all-optical switching fabric) を提供することができる。しかしながら、データ接続期間に、それぞれの単一波長入力光ファイバ・セグメントを1つの単一波長出力光ファイバ・セグメントにマッピングする代わりに、時間の関数として変化する特定の入力光信号のスイッチング命令に、スイッチ・ファブリックを応答させることができる。

【0105】この機能は、入力光信号の本質がパケット・ベースであり、それぞれのパケットがヘッダ部およびペイロード部を持つ場合に有用である。ヘッダは、送信元および宛先スイッチ・ノードを識別することができる。異なるパケットは、同じ波長および同じ単一波長光ファイバ・セグメントを共用するけれども、それらに関連するヘッダは、完全に異なる送信元および/または宛先を示すことができる。

【0106】本発明のこの代替実施形態では、スイッチ・ノードは、単一波長入力光ファイバ・セグメントに接続された光タップ(optical tap)のバンク (例えば、PINダイオード) を備えることができる。これらのタップは光電変換器に接続され、それらの光電変換器はすべて制御装置に接続される。したがって、制御装置は、それぞれの入来するパケットのヘッダを読み出して処理することができる。

【0107】動作時には、前述したように、波長ルーティング(WR)プロトコルが働く。さらに、データ接続

要求がなされると(ここで、それぞれの送信元-宛先の対が識別される)、ネットワーク・トポロジに基づいて、波長分散(WD)プロトコルを用いてマッピング命令および波長変換コマンドの特定の組が生成される。

【0108】ただし、この場合、特定のデータ接続を確立するために、単一波長入力光ファイバ・セグメントを単一波長出力光ファイバ・セグメントにマッピングする前に、追加のステップが実行される。具体的には、入力光ファイバ・セグメント上のそれぞれのパケットのヘッダが検査される。以前に導出されたマッピング命令および波長変換コマンドが使用されるのは、ヘッダに指定された送信元および宛先が、WDプロトコルを用いて接続が設定された送信元-宛先の対に一致する場合だけである。

【0109】ヘッダに指定された送信元および宛先スイッチ・ノードに依存して、それぞれのパケットに1つのマッピングを適用させて、複数のマッピングをそれぞれの単一波長入力光ファイバ・セグメントに関連づけることを可能とすることも、本発明の範囲内であることは当然である。

【0110】以上、本発明の好ましい実施形態および代替実施形態について説明し図示してきたが、特許請求の範囲に記載する本発明の範囲を逸脱することなく、本発明にさらに変更および修正を加えることができるということは、当業者ならば理解するであろう。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の好ましい実施形態に従うスイッチ・ノードの概略図。

【図2】(A)図1のスイッチ・ノードの制御装置によって作成された波長アベイラビリティ・テーブルの可能な構造、および(B)図1のスイッチ・ノードの制御装置によって作成されたルーティング・テーブルの可能な構造を示す図。

【図3】光ネットワークと、該ネットワーク内の2つのスイッチ・ノードを結ぶ経路の概略図。

【図4】本発明の代替実施形態に従うスイッチ・ノードの概略図。

【図5】本発明の波長ルーティング・プロトコルを示す流れ図。

【図6】本発明の波長分散プロトコルを示す流れ図。

【図7】図3の経路上の2つのスイッチ・ノードのルーティング・テーブル・エントリを示す図。

【符号の説明】

- 400 スwitch・ノード
- 402、404、406、408 ポート
- 412、414、416、418 波長多重光ファイバ・セグメント
- 422、442、542、 中間光ファイバ・セグメント
- 432、434、436、438 方向性結合器

452、454、456、458 光デマルチプレクサ
 462A～D、562A 単一波長光ファイバ・セグメント
 462B'～D' 単一波長入力光ファイバ・セグメント
 472A、478A、572A、578A 光電変換器
 472B～D 波長変換器 490 制御装

置

490A プロセッサ

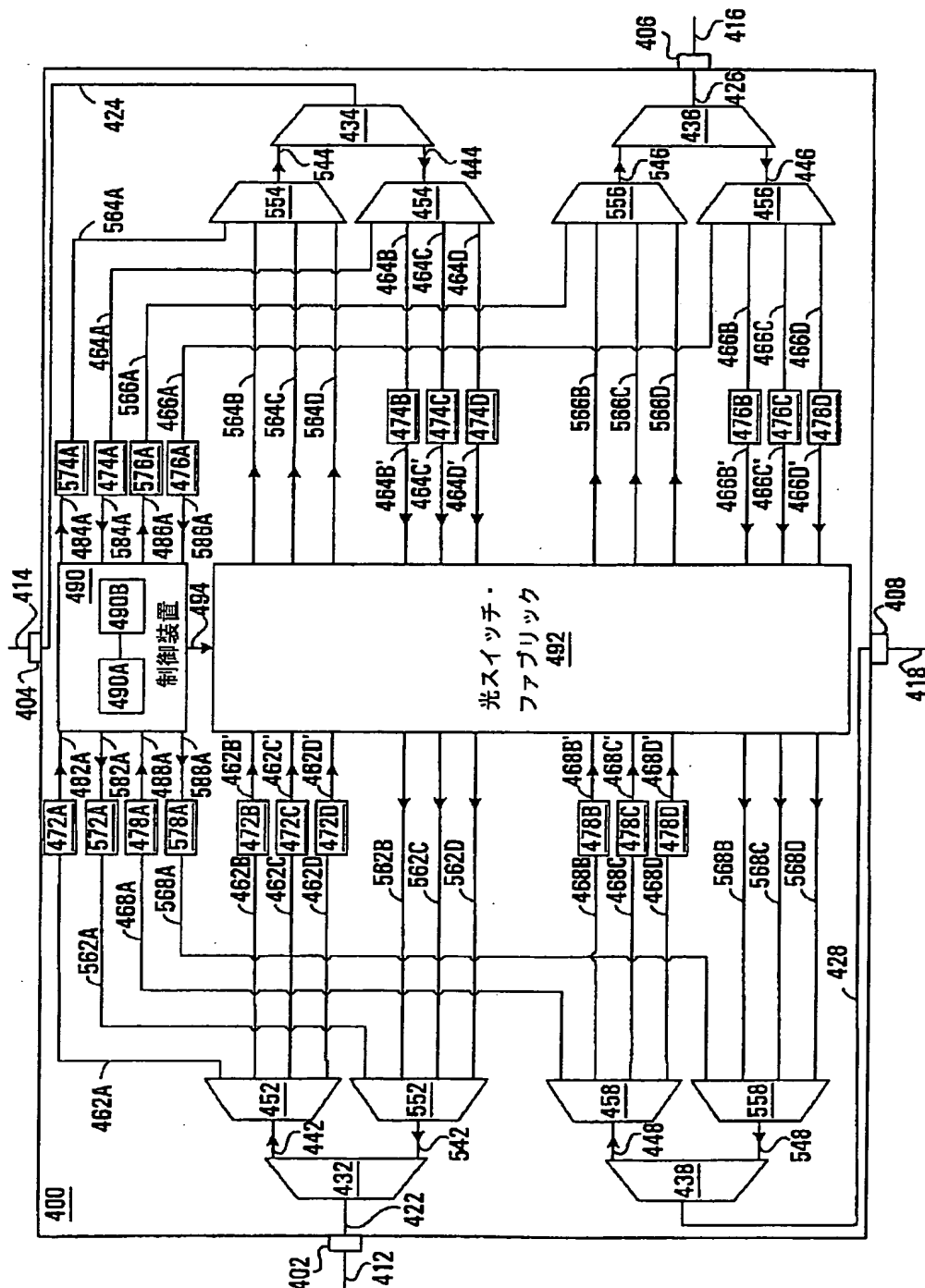
490B メモリ要素

492 光スイッチ・ファブリック

552 光マルチプレクサ

562B～D 単一波長出力光ファイバ・セグメント

【図1】



【図2】

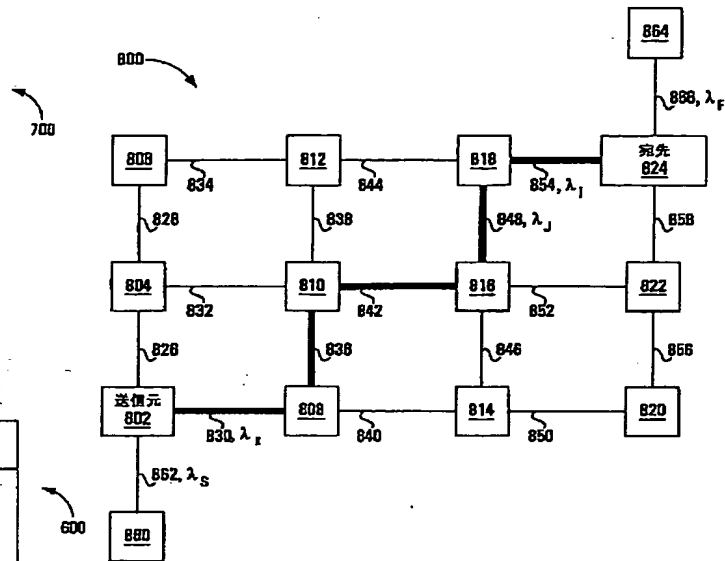
PORT 710	WAVELENGTH 720	AVAILABILITY 730
402		
404		
406		
408		

(A)

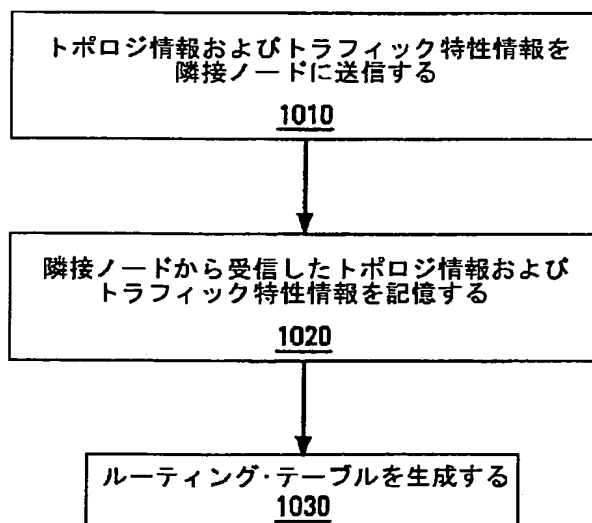
SSN 810	DSN 820	TCI 830	NHSN 840

(B)

【図3】



【図5】



【図7】

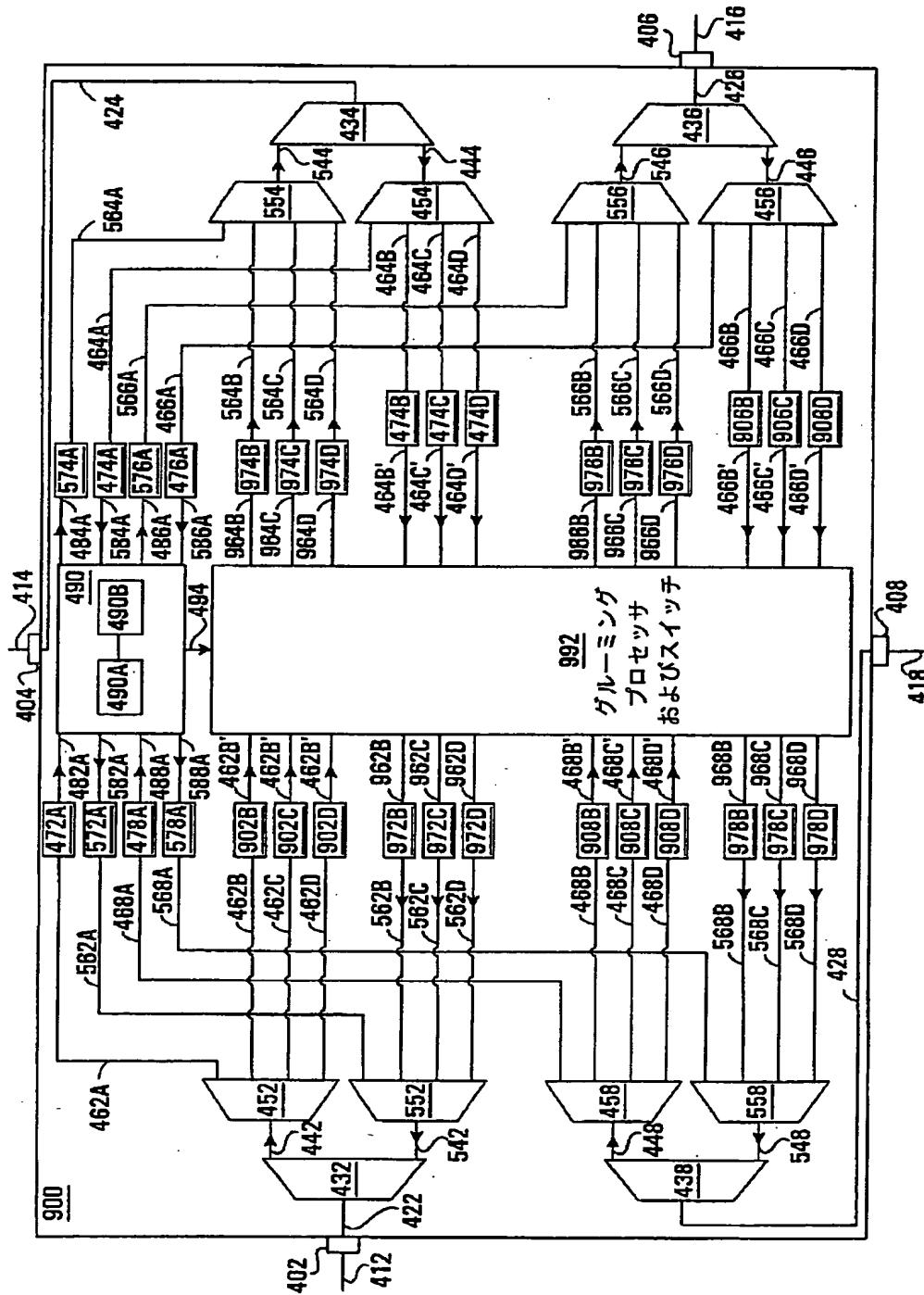
SSN 610	DSN 620	TCI 630	NHSN 640
...
802	824	OC-4 OC-32 OC-192 GBE	808
...

(A)

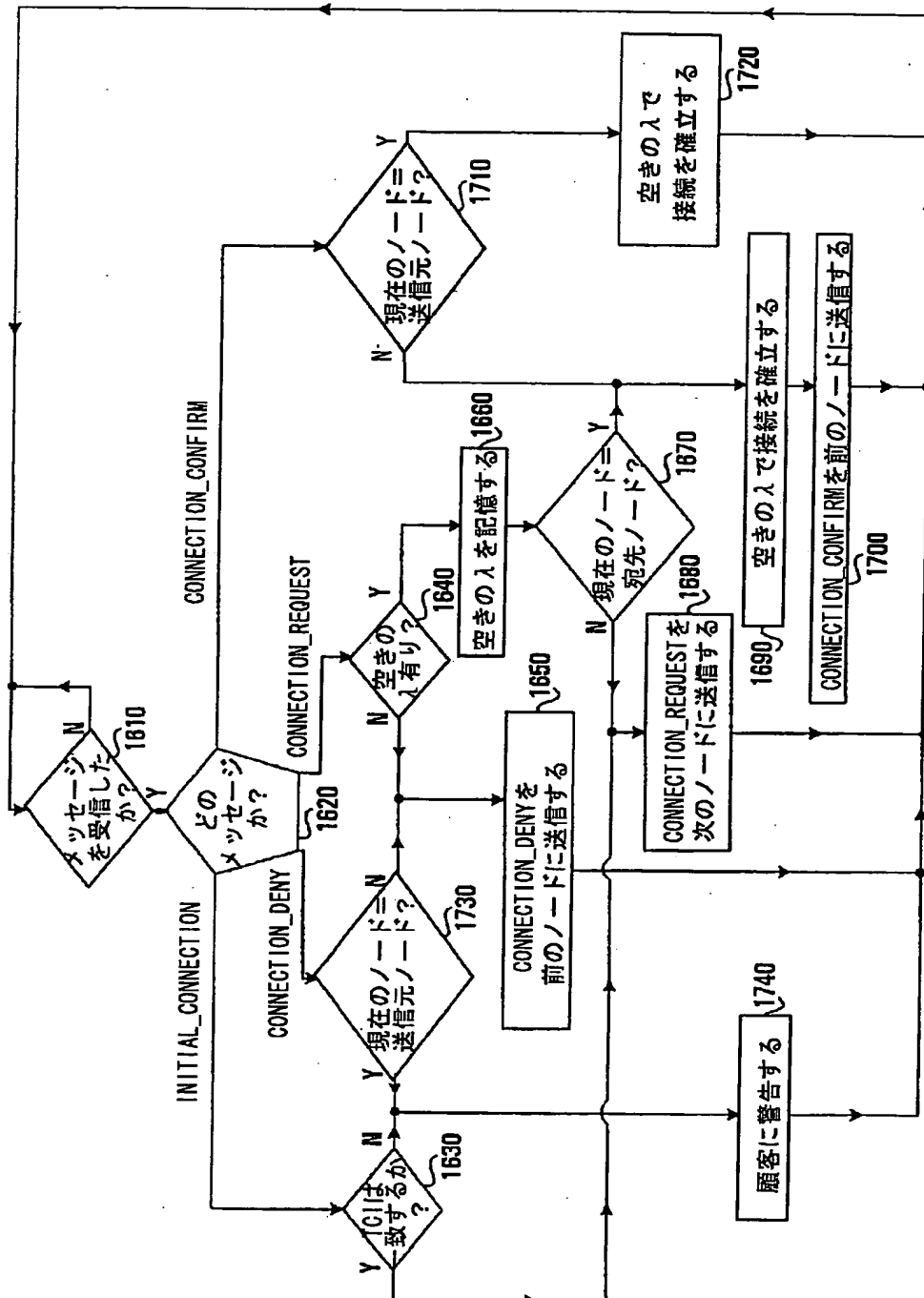
SSN 810	DSN 820	TCI 830	NHSN 840
...
802	824	OC-4 OC-32 OC-192 GBE	810
...

(B)

【図4】



【図6】



フロントページの続き

(72) 発明者 クオ・チェン・ワン
 カナダ、ケー2ジェイ、4ケー8、オンタ
 リオ、ネビアン、ロングシャイア・サーク
 ル 233

【外国語明細書】

1. Title of Invention

OPTICAL SWITCH AND PROTOCOLS FOR USE THEREWITH

2. Claims

1. A switching node, comprising:
an optical switch fabric for switching optical signals arriving on a plurality of input optical fiber segments over to a plurality of output optical fiber segments in accordance with mapping instructions;
wavelength conversion means connected to the optical switch fabric, for modifying the wavelengths occupied by incoming or switched optical signals in accordance with conversion commands; and
a control unit connected to the optical switch fabric and to the wavelength conversion means, for exchanging control information with other switching nodes using a network layer protocol and generating said mapping instructions and said conversion commands based on said control information.
2. A switching node as claimed in claim 1, wherein said control information is exchanged using an out-of-band control channel.
3. A switching node as claimed in claim 1, wherein the out-of-band control channel is an optical supervisory channel.
4. A switching node as claimed in claim 1, wherein said control information is exchanged using an in-band control channel.
5. A switching node as claimed in claim 1, further comprising a plurality of ports for connecting the switching node to adjacent switching nodes via a respective fiber optic link and further comprising, for each port:

an optical directional coupler connected to the respective port;

an optical multiplexer connected between the respective optical directional coupler and a respective plurality of the output optical fibers; and

an optical demultiplexer connected between the respective optical directional coupler and a respective plurality of the input optical fibers.

6. A switching node as claimed in claim 5, further comprising:

at least one additional input optical fiber segment connected to each optical demultiplexer for carrying control information from the switching node connected to the respective port;

at least one additional output optical fiber segment connected to each optical multiplexer for carrying control information to the switching node connected to the respective port; and

optoelectronic conversion means connected between the control unit and the additional input and output optical fiber segments.

7. A switching node as claimed in claim 5, wherein the control unit comprises a processor and a memory element accessible by the processor.

8. A switching node as claimed in claim 7, wherein the memory element stores a routing table and a wavelength availability table, wherein the routing table contains a next hop switching node field associated with every possible pair of terminal switching nodes and wherein the wavelength availability table contains the identity of the switching nodes connected to

any of the ports by a respective multi-wavelength fiber optic link and, for each wavelength, an indication of whether that wavelength is occupied or available.

9. A switching node as claimed in claim 8, wherein the next hop switching node field is generated by the control unit executing a routing algorithm.

10. A switching node as claimed in claim 9, wherein the routing algorithm is the Dijkstra algorithm.

11. A switching node as claimed in claim 8, wherein the switching node is connected to a previous switching node in a path identified by a first terminal switching node and a second terminal switching node, and wherein the control unit is operable to:

a) receive messages from the previous switching node;

b) if the message is a CONNECTION_REQUEST message, then:

access the wavelength availability table to identify an available wavelength on the link between the current and previous switching nodes, said available wavelength being associated with one of the input optical fiber segments;
and

if the current switching node is the second terminal switching node:

generate mapping commands for establishing a connection using said available wavelength between the input optical fiber segment associated with said

available wavelength and one of the output optical fiber segments; and

send a CONNECTION_CONFIRM message to the previous switching node;

otherwise:

access the routing table to determine the contents of the next hop switching node field associated with the first and second terminal switching nodes; and

forward the CONNECTION_REQUEST message to the switching node identified by the next hop switching node field; and

c) if the message is a CONNECTION_CONFIRM message, then:

generate mapping commands for establishing a connection using said available wavelength between the input optical fiber segment associated with said available wavelength and one of the output optical fiber segments; and

send a CONNECTION_CONFIRM message to the previous switching node.

12. A switching node as claimed in claim 11, wherein said conversion commands are sent to the wavelength conversion means if the available wavelength used by an input optical fiber segment differs from the wavelength associated with the output

optical fiber segment to which the input optical fiber is connected by the optical switch fabric.

13. A switching node as claimed in claim 1, wherein the control information includes topology information about the network and wherein the mapping instructions and conversion commands are automatically reconfigurable as a function of changes in the topology information.

14. A switching node as claimed in claim 1, wherein each input optical signal consists of a sequence of packets, with each packet containing of a header and a payload, the switching node further comprising:

means connected to the input optical fiber segments and to the control unit, for extracting the header of each packet;

wherein the mapping instructions and the conversion commands are further dependent on the information contained in the header.

15. A switching node, comprising:

a first plurality of optoelectronic converters, for converting input optical signals occupying respective wavelengths into electronic signals;

a second plurality of optoelectronic converters, for converting output electronic signals into output optical signals occupying respective wavelengths;

a digital switch fabric connected to the optoelectronic converters, for switching the input electronic signals over to the output electronic signals in accordance with mapping instructions; and

a control unit connected to the digital switch fabric and to the optoelectronic converters, for exchanging control

information with other switching nodes using a network layer protocol and generating said mapping instructions based on said control information.

16. A switching node as claimed in claim 15, wherein said control information is exchanged by means of an out-of-band control channel.

17. A switching node as claimed in claim 15, wherein said control information is exchanged by means of an in-band control channel.

18. A switching node as claimed in claim 15, further comprising a plurality of ports for connecting the switching node to adjacent switching nodes and further comprising, for each port:

- an optical directional coupler connected to the respective port;

- an optical multiplexer connected between the respective optical directional coupler and respective ones of the first plurality of optoelectronic converters; and

- an optical demultiplexer connected between the respective optical directional coupler and respective ones of the second plurality of optoelectronic converters.

19. A switching node as claimed in claim 18, further comprising:

- at least one input optical fiber segment connected to each optical demultiplexer for carrying incoming control information;

- optoelectronic conversion means connected between the input optical fiber segments and the control unit;

at least one output optical fiber segment connected to each optical multiplexer for carrying outgoing control information; and

optoelectronic conversion means connected between the control unit and the output optical fiber segments.

20. A switching node as claimed in claim 15, wherein the control unit comprises means for re-formatting the input electronic signals prior to switching.

21. A switching node as claimed in claim 15, wherein the control unit comprises means for re-formatting the output electronic signals after switching.

22. A method of establishing a data connection between first and second terminal switching nodes in an optical network, the network comprising said terminal switching nodes and a plurality of other switching nodes interconnected by multi-wavelength optical links, the method comprising:

identifying a path comprising a set of links and wavelengths for transporting data between the first and second terminal switching nodes via zero or more intermediate switching nodes; and

at each intermediate switching node connected to a respective ingress link and a respective egress link in the identified path, switching the optical signals arriving on the respective ingress link over to the respective egress link and performing wavelength conversion if the wavelengths occupied on the respective ingress and egress links are different.

23. A method as claimed in claim 22, wherein the step of identifying a path comprises:

- a) at each switching node, associating a respective next hop switching node with every possible pair of switching nodes;
- b) the first terminal switching node forwarding a data connection request message to the next hop switching node associated with the instant combination of the first and second terminal switching nodes;
- c) upon receipt of the connection request message, the next hop switching node reserving a wavelength on the link connecting the next hop switching node to the first terminal switching node;
- d) renaming the next hop switching node as the current switching node;
- e) if the current switching node does not correspond to the second terminal switching node, the current switching node forwarding the data connection request message to the next hop switching node corresponding to the instant combination of the two first and second terminal nodes;
- f) upon receipt of the connection request message, the next hop switching node reserving a wavelength on the link connecting the next hop switching node to the current terminal switching node;
- g) repeating step d), e) and f) until the current switching node corresponds to the second terminal switching node.

24. A method as claimed in claim 23, wherein step a) comprises executing a routing algorithm based on topology information about the network.

25. A method as claimed in claim 24, wherein said topology information is exchanged among the switching nodes using a control channel.

26. A method as claimed in claim 25, wherein the control channel is an in-band control channel.
27. A method as claimed in claim 25, wherein the control channel is an out-of-band control channel occupying at least one wavelength along each link.
28. A method as claimed in claim 22, wherein switching the optical signals comprises:
- at the intermediate switching node connected to the second terminal switching node: switching the optical signal occupying the reserved wavelength on the respective ingress link over to the reserved wavelength on the respective egress link and forwarding a connection confirmation message to the switching node connected to the ingress link; and
 - at every other intermediate switching node: upon receipt of a connection confirmation message, switching the optical signal occupying the reserved wavelength on the respective ingress link over to the reserved wavelength on the respective egress link and forwarding a connection confirmation message to the switching node connected to the ingress link.
29. A wavelength distribution protocol for enabling the establishment of a data connection between a first terminal switching node and a second terminal switching node via zero or more intermediate switching nodes along a path in a network, wherein an initial CONNECTION_REQUEST message is sent to the first terminal switching node upon initially requesting said data connection, the protocol comprising, at each current switching node connected in said path between a previous switching node and/or a next switching node by respective optical links:

receiving messages from the previous or next switching node;

if the message is a CONNECTION_REQUEST message, then:

if the current switching node is not the first terminal switching node, identifying and storing an available wavelength on the link between the current and previous switching nodes; and

if the current switching node is the second terminal switching node, establishing a connection using the available wavelength and sending a CONNECTION_CONFIRM message to the previous switching node, otherwise forwarding the CONNECTION_REQUEST message to the next switching node; and

if the message is a CONNECTION_CONFIRM message, then:

establishing a connection using the previously stored available wavelength; and

if the current switching node is not the first terminal switching node, sending a CONNECTION_CONFIRM message to the previous switching node.

3. Detailed Description of Invention

FIELD OF THE INVENTION

The present invention relates to the field of optical switching in general and, more particularly, to optical switching nodes for use in an optical network. The invention also pertains to protocols governing the behaviour of the switching nodes.

BACKGROUND OF THE INVENTION

The development of high-capacity networks has been driven by the need to establish high-bandwidth data connections among remote sites, for instance, between clients and servers. Most often, the communications infrastructure for such a network is provided by one or more long-distance carriers serving the geographic region that encompasses the various remote sites. A carrier may lease fiber optic lines to customers wishing to establish high-capacity connections. Within the carrier's network, optical switching nodes are then configured to support the desired connections.

Usually, a carrier leases its fiber optic lines with a view to long-term usage thereof. Thus, switch configurations established at the time of provisioning the high-capacity connections are expected to remain in place for a period of months or years. Therefore, the switches in the network can be configured manually with virtually no impact on cost or quality of service provided.

However, it is not feasible to manually configure a large number of switches when dealing with a network whose size and/or topology are in constant evolution. Furthermore, the manual configuration of switches cannot accommodate situations in which the bandwidth or quality of service requirements of

the traffic to be transported through the network is time-varying or if there is urgency in establishing new high-capacity connections through the network. Although it is desirable to provide switches which are automatically reconfigurable as a function of changes to the topology and traffic load of the network, such a capability is currently not available.

Moreover, the most common approach to establishing end-to-end data connections in current optical networks relies on the utilization of the same wavelength, say λ_x , along a manually configured path throughout the network. This prevents the establishment of other data connections using λ_x as an end-to-end wavelength if part of the path corresponding to the new connection intersects part of the path corresponding to the original connection. This places a severe constraint on wavelength usage in a current optical network, with the effect of drastically reducing the overall bandwidth efficiency in the network.

Thus, it is apparent that there is a need in the industry to provide an optical switching node which overcomes the above stated disadvantages.

SUMMARY OF THE INVENTION

The invention can be described broadly as a switching node that includes an optical switch fabric, a wavelength conversion unit and a control unit. The optical switch fabric is connected to the control unit and is used for switching optical signals arriving on a set of input optical fiber segments over to a set of output optical fiber segments in accordance with mapping instructions received from the control unit. The wavelength conversion unit is connected to the optical switch fabric and is used for modifying the wavelengths

occupied by incoming or switched optical signals in accordance with conversion commands received from the control unit.

The control unit is used for exchanging control information with other switching nodes using a network layer protocol and generating the mapping instructions and the conversion commands based on this control information. This switching node allows the input and output wavelengths of an optical data signal to occupy different wavelengths, which provides many benefits, among which is included the benefit of increased wavelength efficiency in an optical network.

Preferably, the control information is exchanged using a out-of-band control channel such as an optical supervisory channel.

Preferably, the control unit includes a processor and a memory element accessible by the processor. The memory element preferably stores a routing table and a wavelength availability table. The routing table contains a next hop switching node field associated with every possible pair of terminal switching nodes. The wavelength availability table contains the identity of the switching nodes connected to any of the ports by a respective multi-wavelength fiber optic link and, for each wavelength, an indication of whether that wavelength is occupied or available.

The switching node is most often connected to a previous switching node in a path identified by a first terminal switching node and a second terminal switching node. In such a scenario, the control unit is preferably operable to receive messages from the previous switching node.

If the message is a so-called CONNECTION_REQUEST message, then the control unit will preferably access the wavelength availability table to identify an available wavelength on the link between the current and previous

switching nodes, the available wavelength being associated with one of the input optical fiber segments.

If the current switching node is the second terminal switching node, then the control unit will preferably generate mapping commands for establishing a connection, using the available wavelength, between the input optical fiber segment associated with the available wavelength and one of the output optical fiber segments; and send a CONNECTION_CONFIRM message to the previous switching node.

Otherwise, if the current switching node is not the second terminal switching node, the control unit will preferably access the routing table to determine the contents of the next hop switching node field associated with the first and second terminal switching nodes; and forward the CONNECTION_REQUEST message to the switching node identified by the next hop switching node field.

If, on the other hand, the message is a so-called CONNECTION_CONFIRM message, then the control unit will preferably generate mapping commands for establishing a connection using the available wavelength between the input optical fiber segment associated with the available wavelength and one of the output optical fiber segments; and send a CONNECTION_CONFIRM message to the previous switching node.

In order to accommodate a packet-based architecture, in which incoming optical signals are formed of packets having a header and a payload, the switching node may include an additional conversion unit connected to the input optical fiber segments and to the control unit, for extracting the header of each packet. In this case, the mapping instructions and the conversion commands generated by the controller will further be dependent on the information contained in the header of each packet.

In another embodiment, the switching node includes a first set of optoelectronic converters and a second set of optoelectronic converters. The first set of converters is used for converting input optical signals occupying respective wavelengths into electronic signals, while the second set of converters is used for converting output electronic signals into output optical signals occupying respective wavelengths.

The switching node also includes a digital switch fabric connected to the optoelectronic converters, for switching the input electronic signals over to the output electronic signals in accordance with switching instructions. Finally, the switching node includes a control unit connected to the digital switch fabric and to the optoelectronic converters. The control unit exchanges control information with other switching nodes using a network layer protocol and generates the switching instructions based on the control information.

In this embodiment, the switching node provides grooming functionality in the sense that the input electronic signals can be reformatted so that when these reformatted signals are switched and then converted into an optical format by the second set of converters, the resulting optical signal can be in a desired format. This improves compatibility among end user equipment in a network.

The invention may be summarized at the network level as a method of establishing a data connection between first and second terminal switching nodes. The network is understood to include the terminal switching nodes as well as a group of other switching nodes interconnected by multi-wavelength optical links.

The method includes a first step of identifying a path comprising a set of links and wavelengths for transporting

data between the first and second terminal switching nodes via zero or more intermediate switching nodes.

The method also includes the step of, at each intermediate switching node connected to a respective ingress link and a respective egress link in the identified path, switching the optical signals arriving on the respective ingress link over to the respective egress link and performing wavelength conversion if the wavelengths occupied on the respective ingress and egress links are different. Advantageously, this allows a data connection to be established using different wavelengths along the way.

The invention can also be summarized as a wavelength distribution protocol for enabling a data connection to be established between a first terminal switching node and a second terminal switching node via zero or more intermediate switching nodes along a path in a network. The protocol is executed at the various switching nodes in the network.

At each current switching node connected in the path between a previous switching node and/or a next switching node by respective optical links, the protocol includes the capability to receive messages from the previous or next switching node.

If the message is a `CONNECTION_REQUEST` message, then if the current switching node is not the first terminal switching node, the protocol includes identifying and storing an available wavelength on the link between the current and previous switching nodes.

Also, if the message is a `CONNECTION_REQUEST` message and if the current switching node is indeed the second terminal switching node, the protocol includes establishing a connection using the available wavelength and sending a `CONNECTION_CONFIRM`

message to the previous switching node, otherwise forwarding the CONNECTION_REQUEST message to the next switching node.

If, however, the message is a CONNECTION_CONFIRM message, then the protocol includes establishing a connection using the previously stored available wavelength and if the current switching node is not the first terminal switching node, sending a CONNECTION_CONFIRM message to the previous switching node.

For the protocol to operate as intended, an initial CONNECTION_REQUEST message is assumed to be sent to the first terminal switching node upon initially requesting the data connection.

By participating in this protocol, switching nodes automatically participate in the end-to-end establishment of data connections using dynamically assigned wavelengths, which improves overall bandwidth efficiency of the optical network and provides more flexible protection switching, which no longer requires the input and output wavelengths to be identical.

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT

Fig. 1 shows an optical switching node 400 for connection to other switching nodes in an optical network. According to the preferred embodiment of the present invention, the switching node 400 comprises a plurality of ports 402, 404, 406, 408 connected externally to a respective plurality of multi-wavelength optical fiber segments 412, 414, 416, 418. Optical fiber segments 412, 414, 416, 418 are bidirectional and serve both as ingress and egress links to neighbouring switching nodes (not shown). Alternatively, multiple optical fiber segments (e.g., one for ingress and one for egress) could connect the switching node 400 to each of its neighbours.

Optical fiber segments 412, 414, 416, 418 preferably carry data to and from the neighbouring switching nodes. Optical fiber segments 412, 414, 416, 418 also preferably serve as control links between the neighbouring switching nodes by using dedicated supervisory wavelengths (known as an optical supervisory channel). Other ways of establishing control links

to the switching node include the use of dedicated electronic control lines.

Although depicted as having four ports, the switching node 400 can have any number of ports greater than or equal to two. Also, while optical fiber segments 412, 414, 416, 418 are intended to be connected between ports of neighbouring switching nodes, it should be understood that one or more of the optical fiber segments 412, 414, 416, 418 can be used for transporting individual or multiplexed optical channels to or from customer premises equipment. In this case, the switching node 400 would be referred to as an add/drop node.

Within the switching node 400, ports 402, 404, 406, 408 are connected to respective directional couplers 432, 434, 436, 438 by respective intermediate optical fiber segments 422, 424, 426, 428. Intermediate optical fiber segments 422, 424, 426, 428 are bidirectional and preferably carry both data and control signals to and from the inside of the switching node 400. The directional couplers 432, 434, 436, 438 are known components which couple two unidirectional multi-wavelength signals travelling in opposite directions to a single bidirectional multi-wavelength signal.

In one direction, each directional coupler 432, 434, 436, 438 retrieves incoming data and control signals carried on the respective intermediate optical fiber segment 422, 424, 426, 428 and feeds the incoming signals so retrieved to a respective optical demultiplexer 452, 454, 456, 458 along a respective intermediate optical fiber segment 442, 444, 446, 448.

In the opposite direction, outgoing data and control signals are fed to the directional couplers 432, 434, 436, 438 by a respective optical multiplexer 552, 554, 556, 558 along a respective intermediate optical fiber segment 542, 544, 546,

548. Each directional coupler 432, 434, 436, 438 transfers the respective outgoing data and control signals onto the respective intermediate fiber optic segment 422, 424, 426, 428 connected to the respective port 402, 404, 406, 408.

Each optical demultiplexer 452, 454, 456, 458 separates the multi-wavelength optical signal arriving on the respective intermediate optical fiber segment 442, 444, 446, 448 on the basis of wavelength to produce a respective set of individual optical signals appearing on a respective plurality of single-wavelength optical fiber segments 462A-D, 464A-D, 466A-D, 468A-D.

Although Fig. 1 shows each of the optical demultiplexers 452, 454, 456, 458 as being associated with four single-wavelength optical fiber segments, it is to be understood that the number of segments emanating from an optical demultiplexer can correspond to the number of wavelengths in each multi-wavelength optical signal arriving at the respective optical demultiplexer along the respective intermediate optical fiber segment 442, 444, 446, 448.

Among the plurality of single-wavelength optical fiber segments emanating from each demultiplexer, at least one of these will preferably be used for transporting control information and the remaining ones will preferably be used for transporting data to be switched. The transport of control information on a dedicated wavelength between two switching nodes is known as establishing an "out-of-band" control channel. Alternatively, an "in-band" control channel can be established by embedding a control-laden header within the data transported between two switching nodes, e.g., in a header portion.

In the specific case of Fig. 1, single-wavelength optical fiber segments 462A, 464A, 466A, 468A provide out-of-

band control channels for carrying incoming control information from neighbouring switching nodes. Each single-wavelength optical fiber segment 462A, 464A, 466A, 468A is connected to a respective optoelectronic converter 472A, 474A, 476A, 478A. Each optoelectronic converter 472A, 474A, 476A, 478A converts the optical control signal on the respective single-wavelength optical fiber segment 462A, 464A, 466A, 468A into an electronic control signal on a respective input control line 482A, 484A, 486A, 488A. Input control lines 482A, 484A, 486A, 488A are connected to a controller 490.

The remaining sets single-wavelength optical fiber segments 462B-D, 464B-D, 466B-D, 468B-D carry incoming data and each set is fed to a respective bank of controllable wavelength converters 472B-D, 474B-D, 476B-D, 478B-D. Each wavelength converter 472B-D, 474B-D, 476B-D, 478B-D is a device which translates the optical signal on the respective single-wavelength optical fiber segment 462B-D, 464B-D, 466B-D, 468B-D from its present wavelength onto a (possibly different) wavelength specified by a control signal sent by the controller 490 along a respective control line (not shown).

It should be appreciated that wavelength conversion as performed by the wavelength converters 472B-D, 474B-D, 476B-D, 478B-D could be achieved via direct optical methods or by conversion into the electronic domain, followed by conversion back into the optical domain on another specified wavelength.

The signals converted by each bank of wavelength converters 472B-D, 474B-D, 476B-D, 478B-D appear on a respective set of single-wavelength input optical fiber segments 462B'-D', 464B'-D', 466B'-D', 468B'-D' which are fed to respective input ports of an optical switch fabric 492.

The optical switch fabric 492 also has a plurality of output ports connected to a respective plurality of single-

wavelength output optical fiber segments 562B-D, 564B-D, 566B-D, 568B-D. The optical switch fabric 492 comprises circuitry for controllably establishing one-to-one optical connections between single-wavelength input optical fiber segments 462B'-D', 464B'-D', 466B'-D', 468B'-D' and single-wavelength output optical fiber segments 562B-D, 564B-D, 566B-D, 568B-D. The data connections are established on the basis of mapping instructions received from the controller 490 via a control line 494.

Those skilled in the art will appreciate that because the various intermediate optical fiber segments 442, 444, 446, 448, 542, 544, 546, 548 may accommodate differing numbers of wavelengths, the number of single-wavelength output optical fiber segments connected to the optical switch fabric 492 may differ from the number of single-wavelength input optical fiber segments connected thereto.

It will also be understood that the banks of wavelength converters could be connected to the single-wavelength output optical fiber segments 562B-D, 564B-D, 566B-D, 568B-D at the output of the optical switch fabric 492 rather than to the single-wavelength input optical fiber segments 462B'-D', 464B'-D', 466B'-D', 468B'-D' at the input of the optical switch fabric 492.

A plurality of output control lines 582A, 584A, 586A, 588A emanating from the controller 490 form part of the respective out-of-band control channels linking the switching node 400 to neighbouring switching nodes. The output control lines 582A, 584A, 586A, 588A are respectively connected to a plurality of optoelectronic converters 572A, 574A, 576A, 578A. The optoelectronic converters 572A, 574A, 576A, 578A convert electronic control signals output by the controller 490 into

optical signals appearing on respective single-wavelength optical fiber segments 562A, 564A, 566A, 568A.

Each single-wavelength optical fiber segment 562A, 564A, 566A, 568A carrying outgoing control information from the controller 490 is connected to a respective one of the optical multiplexers 552, 554, 556, 558. Also leading to the optical multiplexers 552, 554, 556, 558 are respective sets of single-wavelength output optical fiber segments 562B-D, 564B-D, 566B-D, 568B-D carrying switched signals (i.e., outgoing data) from the optical switch fabric 492. The optical multiplexers 552, 554, 556, 558 combine the individual optical signals carried by respective groups of single-wavelength optical fiber segments 562A-D, 564A-D, 566A-D, 568A-D into respective multi-wavelength optical signals carried to respective directional couplers 432, 434, 436, 438 by respective intermediate optical fiber segments 542, 544, 546, 548.

The controller 490 preferably comprises a processor 490A connected to a memory element 490B. The processor 490A is preferably a micro-processor running a software algorithm. Alternatively, the processor could be a digital signal processor or other programmable logic device.

The memory element 490B stores wavelength availability information in the form of a wavelength availability table. Fig. 2A shows the structure of a wavelength availability table 700 in accordance with the preferred embodiment of the present invention. The wavelength availability table 700 comprises a PORT column 710, a WAVELENGTH column 720 and an AVAILABILITY column 730. The PORT column 710 contains one entry for each port in the switching node. In the case of the switching node 400 in Fig. 1, the number of ports, and therefore the number of entries in the PORT column 710 of the wavelength availability table 700, is equal to four. The

ports are identified by their reference numerals from Fig. 1, namely 402, 404, 406 and 408.

For each row corresponding to a given port, there may be multiple entries in the WAVELENGTH column 720, depending on the number of wavelengths that can enter or exit the switching node through that port. For example, in the case of the switching node 400 in Fig. 1, there are six entries in the WAVELENGTH column 720 corresponding to each of the ports 402, 404, 406, 408. For each entry in the WAVELENGTH column 720, there is an entry in the AVAILABILITY column 730 indicating whether or not the corresponding wavelength is currently occupied on the corresponding port. A binary value is adequate for representing each entry in the AVAILABILITY column 730.

The memory element 490B also stores topological information about the network. Specifically, the memory element 490B stores the identity of those switching nodes which are directly connected to switching node 400 via one of the optical fiber segments 412, 414, 416, 418. The memory element 490B also stores similar topological information about the rest of the network, which is transmitted to the switching node 400 by the neighbouring switching nodes. The processor 490A in the switching node 400 uses topological information stored in the memory element 490B to construct a topological tree of the entire network with the switching node 400 as the root. This tree is then used by the processor 490A to construct a routing table which is also stored in the memory element 490B.

Fig. 2B illustrates the format of a routing table 600 in accordance with the preferred embodiment of the invention. The routing table 600 preferably contains four fields, namely a source switching node (SSN) field 610, a destination switching node (DSN) field 620, a traffic characteristic information (TCI) field 630 and a next hop switching node (NHSN) field 640.

The entries in the SSN and DSN fields 610, 620 account for every possible combination of end switching nodes in the network. The TCI field 630 contains the traffic characteristic information received from the switching node identified by the entry in the DSN field 620 of the corresponding row in the routing table. In this way, the TCI field 630 identifies the signalling formats acceptable by the respective optical interface in each destination switching node.

Typically, it will not be possible to send data from a source switching node to a destination switching node without passing through at least one intermediate switching node. Thus, the switching node 400 will generally be one in a series of intermediate switching nodes located between source and destination. The next intermediate node along the route leading to the destination switching node is known as the next hop switching node and is identified in the NHSN field 640 of the routing table. The next hop switching node is a function of the source switching node, the destination switching node, the network topology and the position of the current switching node within that topology. Thus, the routing table is different for each switching node in the network and is basically static, changing only when the network undergoes a topological alteration.

In operation, the manner in which control information is communicated and interpreted by the various switching nodes in the network is governed by a network-layer wavelength routing (WR) protocol. An end-to-end path for transferring data from a source switching node to a destination switching node along a path in a network can be established by having each switching node participate in a network-layer wavelength distribution (WD) protocol. Both protocols are now described.

The WR protocol is implemented by having the processor in each switching node run an algorithm such as the one illustrated in the flowchart of Fig. 5. Specifically, Fig. 5 depicts an information propagation step 1010, an information storing step 1020 and an information processing step 1030.

Firstly, the propagation step 1010 consists of the controller 490 sending topology information and traffic characteristic information to neighbouring switching nodes via the appropriate control channel (either out-of-band or in-band). The topology information includes the identity of the switching node 400 and the identity of each switching node adjacent the switching node 400 and connected to one of its ports. The traffic characteristic information may consist of a listing of signalling types that are acceptable to each port. The contents of this listing may be governed by end user formatting requirements.

In addition, as another part of the propagation step 1010, the switching node 400 relays control information received from any neighbouring switching node to all other neighbouring switching nodes. The control information sent by the switching node 400 can be transmitted at regular intervals of, for instance, ten seconds or, alternatively, only when there is a change in the received control information.

It is noted that because each switching node forwards not only its own control information but also that of its immediate neighbours, every switching node is recursively made aware of the topology of the entire network and of the acceptable signalling types associated with each switching node in the network.

The storing step 1020 consists of the controller 490 storing, in the memory element 490B, its own topology and

traffic characteristic information as well as that received from neighbouring switching nodes.

Finally, the processing step 1030 consists of the controller 490 in the switching node 400 generating the routing table stored in the memory element 490B, either periodically or after a topology change, as a function of the network topology information and traffic characteristic information stored in the storing step 1020. With reference to the routing table shown in Fig. 2B, in order to fill the NHSN field 640 for a particular row in the routing table 600, the software in the processor of the switching node executes a next hop routing algorithm, for example the well-known Dijkstra algorithm. (See J. Moy, *Network Working Group RFC 1583*, pp. 142-160, hereby incorporated by reference herein). If the Dijkstra algorithm produces no suitable next hop switching node for a given row in the routing table 600, this fact can be signalled by leaving blank the corresponding entry in the NHSN and TCI fields 630, 640, respectively.

The WD protocol is implemented by the processor in each switching node running an algorithm such as the one illustrated in the flowchart of Fig. 6. The inventive wavelength distribution (WD) protocol consists of the exchange and interpretation of several types of messages, including an INITIAL_CONNECTION_REQUEST message, a CONNECTION_REQUEST message, a CONNECTION_CONFIRM message and a CONNECTION_DENY message.

Referring to the flowchart in Fig. 6 and, more specifically, to step 1610, the processor in a given switching node waits to receive a message. Upon receipt of a message the processor verifies, at step 1620, whether it is an INITIAL_CONNECTION_REQUEST message. An INITIAL_CONNECTION_REQUEST message is typically generated by customer premises equipment connected to the source switching node, for example.

If the received message is indeed an INITIAL_CONNECTION_REQUEST message, then it will specify the source and destination switching nodes, as well as the signalling format (say, TCI_s) used by the interface connected to the source switching node. At step 1630, the processor verifies whether TCI_s matches any one of the signalling formats accepted by the interface connected to the destination switching node. If there is no TCI match, then the source switching node customer is informed that a connection cannot be established.

On the other hand, if there is a TCI match, then the processor looks up the entry in the NHSN field of the row of the routing table associated with the source and destination switching nodes and subsequently sends a CONNECTION_REQUEST message to the switching node identified by that entry. The CONNECTION_REQUEST message preferably contains a SSN parameter for identifying the source switching node and a DSN parameter for identifying the destination switching node. The intended recipient of the CONNECTION_REQUEST message is also known as the "next" switching node along the route between the source and destination nodes.

The message found to be received at step 1620 might not be an INITIAL_CONNECTION_REQUEST message, but may be a CONNECTION_REQUEST message (such as the one sent by the source switching node after an INITIAL_CONNECTION_REQUEST message). The CONNECTION_REQUEST message is assumed to be received by the current switching node from a "previous" switching node along the route between the source and destination switching nodes.

In the event that a CONNECTION_REQUEST message was received, step 1640 provides verification of whether there is a free wavelength between the previous switching node and the current switching node. If there is no such wavelength, then

the processor causes a CONNECTION_DENY message to be sent to the previous switching node, as indicated at step 1650.

On the other hand, if there is a free wavelength, then step 1660 consists of storing this free wavelength in the memory element connected to the processor in the current switching node. This is followed by step 1670, at which it is verified whether the current switching node is in fact the destination switching node. If not, then, as indicated by step 1680, the CONNECTION_REQUEST message is forwarded to the next switching node along the route.

If, however, the current switching node is indeed the destination switching node, then step 1690 involves the establishment of a data connection through the optical switch fabric of the current switching node. This can be achieved by the controller 490 providing an appropriate mapping instruction to the optical switch fabric 492. This connection links the single-wavelength optical fiber associated with the free wavelength (as stored in the memory element after execution of step 1660) and the optical fiber segment leading to the customer premises equipment connected to the destination switching node.

If the wavelength occupied by the customer premises equipment is different from the free wavelength stored in the memory element, then appropriate instructions must also be sent to the wavelength converter associated with the free wavelength. Furthermore, the wavelength availability table is updated to reflect that the "free" wavelength is no longer available on the corresponding port linking the current switching node with the previous switching node.

After a connection has been established, step 1700 indicates that a CONNECTION_CONFIRM message is sent to the previous switching node, which is now optically connected to

the current switching node by the free wavelength. The CONNECTION_CONFIRM message specifies the free wavelength.

Returning now to step 1620, if the received message is a CONNECTION_DENY message, then as indicated at step 1730, the action to be taken depends on whether the current switching node is the source switching node. If the current switching node is not the source switching node, then the CONNECTION_DENY message is backwarded to the previous switching node as indicated at step 1650. Thus, the CONNECTION_DENY message eventually reaches the source switching node where, according to step 1740, the customer is alerted to the fact that a connection cannot be established.

Finally, if the message found to be received at step 1620 is a CONNECTION_CONFIRM message, then the action to be taken again depends on whether the current switching node is the source switching node as indicated at step 1710. If the current switching node is indeed the source switching node, then a connection is established (step 1720) between the optical fiber segment connected to the customer premises equipment and the single-wavelength optical fiber segment carrying data between the source switching node and the next switching node.

Otherwise (step 1690), a connection is established which joins the single-wavelength optical fiber segment carrying data between the current switching node and the previous and next switching nodes. In addition, the locally stored wavelength availability table is also updated to reflect the new wavelength occupancy on the optical fiber segment carrying data between the current switching node and the previous and next switching nodes. If necessary, wavelength conversion instructions are sent in either case to the appropriate wavelength converter. As shown at step 1700, a

CONNECTION_CONFIRM message is subsequently sent to the previous switching node.

An example illustrating how an end-to-end connection is prepared using the WD protocol is now described with reference to Fig. 3, which shows an optical network 800 comprising a plurality of switching nodes 802-824 connected in a meshed matrix pattern via a plurality of optical fiber segments 826-858. Switching node 802 is connected to customer premises equipment (CPE) 860 via an optical fiber segment 862 which uses a wavelength λ_s . The CPE 860 uses a signalling format which may be denoted TCI_s . Switching node 824 is connected to CPE 864 via an optical fiber segment 866 which uses a wavelength λ_r . The CPE 864 accepts signalling formats which may be identified by the set $\{TCI_r\}$.

The switching nodes 802-824 participate in the inventive WR protocol. Thus, a routing table will be generated at each switching node. This routing table is different for each switching node but is static until the topology of the network changes. For purposes of illustration and without loss of generality, Fig. 7A shows part of a routing table 900 generated at switching node 802 corresponding to the row in which the source switching node is designated as switching node 802 and the destination switching node is designated as switching node 824. Specifically, the entry in the TCI column 630 indicates that the CPE 864 connected to switching node 824 is capable of receiving data in the listed formats, namely OC-4, OC-32, OC-192 and Gigabit Ethernet (GBE). The entry in the NHSN column 640 indicates that the next hop switching node in the route joining switching nodes 802 and 824 is switching node 808.

Similarly, Fig. 7B shows an example row from a routing table 950 stored in the memory element of switching

node 808. This row again corresponds to the source-destination combination involving switching nodes 802 and 824, respectively. Of course, the routing table 950 is generated from the perspective of switching node 808 and therefore the entries in the NHSN column 640 will be different from those in the routing table 900 stored in switching node 802. In the example of Fig. 7B, the entry in the NHSN column 640 specifies switching node 810. Similarly, the corresponding entry in the NHSN column 640 in the routing tables stored in switching nodes 810, 816 and 818 can specify switching node 816, 818 and 824, respectively.

Thus, a potential route exists between switching node 802 and 824, consisting of optical fiber segments 830, 836, 842, 848 and 854 as indicated by the thick solid line in Fig. 3. Similarly, potential routes exist between all other combinations of source switching node and destination switching node.

The messaging scheme of the WD protocol is now illustrated with continued reference to the network of Fig. 3 and the flowchart of Fig. 6. Firstly, the desire to establish an end-to-end data connection between CPE 860 and CPE 864 is signalled to the source switching node 802 in any suitable way. That is to say, an INITIAL_CONNECTION_REQUEST message is received by switching node 802.

In accordance with the WD protocol (at step 1630), switching node 802 compares the signalling format of CPE 860, namely TCIs, to the set of acceptable signalling formats associated with CPE 864, namely the set {TCI_r}. If a TCI match is detected, then the processor in the source switching node 802 consults its routing table (Fig. 7A) and extracts the identity of the switching node in the NHSN field of the row corresponding to the particular source-destination switching

node combination. In this case, the switching node so identified would be switching node 808. (It should be noted that if TCI_s is not an element of the set $\{TCI_s\}$, then the connection request is denied. As indicated in step 1740 of Fig. 6, the controller in the source switching node 802 may take action to alert the end user that the connection request has been denied.)

The processor in the source switching node 802 then formulates a CONNECTION_REQUEST message for transmission to switching node 808 (step 1680). The CONNECTION_REQUEST message identified switching node 802 as the source switching node and switching node 824 as the destination switching node. The CONNECTION_REQUEST message is transmitted by the source switching node 802 to switching node 808 via the appropriate out-of-band or in-band control channel.

In accordance with step 1640 of Fig. 6, switching node 808 consults its wavelength availability table to determine whether there is a free wavelength on the fiber optic segment 830 linking it to the previous switching node, in this case source switching node 802. Consequently, either a wavelength is found, in which case the wavelength request is further propagated along the route by forwarding a copy of the CONNECTION_REQUEST message to switching node 810 (step 1680), or a wavelength is not found, in which case the connection request is denied and a CONNECTION_DENY message is sent back to the source switching node 802 (step 1650). In this case, since switching node 808 is not the destination switching node 824, a connection is not yet established.

If sent, the CONNECTION_DENY message is of a suitable format indicating that the connection request has been denied and the reasons therefor, in this case, an inability to find an available wavelength on fiber optic segment 830. According to

steps 1730 and 1740 of Fig. 6, upon receipt of a CONNECTION_DENY message, the controller in the source switching node 802 may take action to alert the end user of CPE 860 that the connection request has been denied.

Each of the switching nodes 810, 816, 818 runs the same algorithm and therefore performs essentially the same tasks as switching node 808. Hence, if wavelengths are available on each of fiber optic segments 836, 842 and 848, the CONNECTION_REQUEST message will eventually be received at the destination switching node 824. Similarly, a CONNECTION_DENY message returned to an one of the switching nodes 810, 816, 818 is relayed back to the source switching node 802, where action can be taken to alert the end user that a connection request has been denied.

Assuming that TCI_s belongs to the set $\{TCI_F\}$ and that a suitable wavelength path is available, the CONNECTION_REQUEST message transmitted by the source switching node 802 will eventually reach the destination switching node 824 via "intermediate" switching nodes 808, 810, 816 and 818. Since it is identified by the DSN parameter in the CONNECTION_REQUEST message, the destination switching node 824 knows that it is the last switching node on the potential route leading from the source switching node 802. In the example scenario of Fig. 3, the final destination is CPE 864 which is connected to the destination switching node 824 via optical fiber segment 866 adapted to carry optical signals on wavelength λ_F . In response to the CONNECTION_REQUEST message, the processor in the destination switching node 824 attempts to find a free wavelength on optical fiber segment 854 connecting the destination switching node 824 with intermediate switching node 818.

If such a wavelength is found, say λ_I , then a data connection is established (step 1720). Specifically, the controller sends mapping instructions to its optical switch fabric for switching the optical signal on the single-wavelength input optical fiber segment associated with λ_I over to the optical fiber segment 866 leading to the customer premises equipment 864. In addition, the controller sends the value of the wavelength λ_F to the wavelength converter associated with the single-wavelength input optical fiber segment carrying the optical signal on wavelength λ_I . If λ_I is different from λ_F , that wavelength converter will be required to perform wavelength conversion. Furthermore, the destination switching node 824 updates its wavelength availability table with information about the newly established data connection. That is to say, the entry in the AVAILABILITY field 730 of the appropriate row is given a value indicating the fact that wavelength λ_I on optical fiber segment 854 is taken, i.e., unavailable.

After instructing its optical switch fabric to set up a data connection, the WD protocol as described at step 1700 in Fig. 7 requires that the destination switching node 824 send a CONNECTION_CONFIRM message to the intermediate switching node 818. The CONNECTION_CONFIRM message specifies the wavelength λ_I , which is the wavelength (prior to wavelength conversion) associated with the single-wavelength input optical fiber segment connected through the optical switch fabric in the destination switching node 824.

Upon receipt of the CONNECTION_CONFIRM message sent by the destination switching node 824, intermediate switching node 818 itself establishes a connection between the single-wavelength output optical fiber whose signal at wavelength λ_I is carried on optical fiber segment 854 and the single-

wavelength input optical fiber 848 whose signal at the previously stored free wavelength (say, λ_j) is carried on optical fiber segment 848. If λ_i does not equal λ_j , then the corresponding wavelength converter is instructed to perform the appropriate wavelength conversion. The controller in intermediate switching node 818 then updates its wavelength availability table and subsequently sends a CONNECTION_CONFIRM message to intermediate switching node 816. This message will specify λ_j (rather than λ_i or λ_p).

Backtracking of the CONNECTION_CONFIRM message continues until this message is received at the source switching node 802. According to step 1720 of the algorithm described with reference to Fig. 7, the controller in the source switching node 802 sends mapping instructions to its optical switch fabric with the aim of establishing a connection between the optical fiber segment 862 occupying wavelength λ_s connected to CPE 860 and the single-wavelength optical fiber segment whose signal is carried on a wavelength λ_k by optical fiber segment 830. If λ_k differs from λ_s , wavelength conversion commands are sent to the wavelength converter associated with optical fiber segment 862.

From the above, it is seen that the route between the source and destination switching nodes 802, 824 consisting of optical fiber segments 830, 836, 842, 848, 854 may occupy different wavelengths. As a result of topology and traffic characteristic information exchanged automatically by virtue of the various switching nodes participating in the WR protocol, the just described wavelength distribution (WD) protocol allows wavelengths to be assigned to specific optical fiber segments in a dynamic fashion each time a new connection is requested. Consequently, the available network bandwidth is used more efficiently and the time, effort and cost involved in

configuring the switching nodes in the network are dramatically reduced.

While the above description of the WD protocol has dealt with the case in which a source switching node wishes to unilaterally send data to a destination switching node, the present invention also applies to the case in which one switching node wishes to extract data from another. In this reverse unidirectional situation, it is more appropriate to call the two end switching nodes "client" (wishing to receive data) and "server" (transmitting the data to the client) switching nodes.

Considering the example network and proposed route shown in Fig. 3, it can be assumed that the client is connected to switching node 802 and that the server is connected to switching node 824. The client 802 is connected to CPE 860 via an optical fiber segment 862, while the server 824 is connected to a data base 864 via an optical fiber segment 866. The above-described WR protocol remains the mechanism by which the various switching nodes in the network exchange and process control information. However, to accommodate the transfer of data from server 824 to client 802 (which is in the opposite direction to the data flow in the previously described source-destination example), the WD protocol is slightly modified.

Specifically, step 1630 in Fig. 6 (in which a TCI comparison is to be performed) may not be executable at the client switching node since the signalling type transmitted by the server may not be known. Therefore, this step must be postponed until a CONNECTION_REQUEST message is received at the server switching node, whereupon this step is performed by the server switching node.

It should also be understood that although route selection is achieved by the switching nodes executing a

routing control algorithm, it is possible for the source switching node or client to preselect the desired route through the network for particular combinations of end points. In other words, the NSHN entries in the routing table in each switching node can be pre-computed. Manual route pre-selection is also acceptable as there are advantages to be gained by having the wavelengths dynamically assigned along each segment in the route in accordance with the WD protocol. Thus, the WR protocol could simply be used for distributing and gathering traffic characteristic information, while omitting the processing step.

It is also within the scope of the invention to provide a bidirectional data connection between two end switching nodes. Wavelength allocation for one direction of communication can follow the algorithm in the above source-destination scenario, while wavelength allocation for the reverse direction can follow the algorithm in the above-described client-server scenario.

Moreover, the invention extends to certain cases in which the signalling types at the end points do not match but are "compatible". For example, if the destination switching node accepts OC-48 signals but the source switching node transmits OC-12 signals, then either the end switching nodes or one of the intermediate switching nodes along the route between the two end switching nodes can be assigned the task of grooming the OC-12 signals so that they become OC-48 signals. In this case, OC-48 and OC-12 signalling types are said to be compatible.

Accordingly, the WD protocol can be modified so that a CONNECTION_DENY message is sent if all wavelengths are unavailable or if TCI_s is incompatible with every element of the set $\{TCI_F\}$. Within each switching node, compatibility may

be determined by consulting a table of compatible pairs of signalling types which can be stored in the respective memory element.

In order to provide the desired grooming functionality, it is necessary to modify the design of the switching node. Fig. 4 shows a switching node 900 in accordance with an alternative embodiment of the present invention. Switching node 900 is identical to switching node 400, except for certain differences which are now explained.

Switching node 900 comprises groups of optoelectronic converters 902B-D, 904B-D, 906B-D, 908B-D connected between respective demultiplexers 452, 454, 456, 458 and a grooming processor and switch 992. Converters 902B-D, 904B-D, 906B-D, 908B-D are used for converting received optical data signals on respective single-wavelength input optical fibers 462B-D, 464B-D, 466B-D, 468B-D into electrical signals fed to the grooming processor 992. Analog-to-digital converters (not shown) are preferably provided between the optoelectronic converters 902B-D, 904B-D, 906B-D, 908B-D and the grooming processor and switch 992.

The grooming processor and switch 992 is preferably a high-speed digital signal processor which is programmed to convert digital electronic signals from one signalling type to another. The grooming processor and switch 992 also provides a digital cross-connect facility for connecting each groomed electronic signal to any one of a plurality of electronic signal lines 962B-D, 964B-D, 966B-D, 968B-D.

Groups of electronic signal lines 962B-D, 964B-D, 966B-D, 968B-D are connected to respective optical multiplexers 552, 554, 556, 558 via respective groups of optoelectronic converters 972B-D, 974B-D, 976B-D, 978B-D. The optoelectronic converters convert the respective electronic signals into optical signals at a wavelength controllable from the controller 490 via respective control lines (not shown). For this reason, wavelength converters are not explicitly required in the design of the switching node in Fig. 4, since their functionality is implicit in the optoelectronic converters 972B-D, 974B-D, 976B-D, 978B-D.

In accordance with another embodiment of the present invention, the switching nodes in Fig. 1 and 4 and the WR and WD protocols governing their behaviour can be used to implement a reliable protection facility in a meshed network. More specifically, if a data connection is established over a particular fiber optic link and if that link fails, then a new data connection request can be initiated by the source switching node. Since each switching node participates in the WR protocol, the change in the topology of the network resulting from the broken link will automatically result in different values for the NHSN column in the respective routing tables.

Those skilled in the art will appreciate that a new connection request can be programmed to occur after a failure is detected, which request is handled by the WD protocol of the present invention, resulting in a new and reliable route for the originally disrupted data connection. Further advantages of relying on the WR and WD protocols described herein include wavelength efficiency, since protection wavelengths need not be dedicated in advance, as well as independent re-routing for different wavelengths occupied by a single optical fiber segment. This latter feature is advantageous because it allows the protection of individual wavelengths wherever there is

capacity in the network.

According to yet another alternative embodiment of the invention, there may be provided an all-optical switching fabric similar to the switch fabric 492 in Fig. 1. However, instead of mapping each single-wavelength input optical fiber segment to one single-wavelength output optical fiber segment for the duration of a data connection, the switch fabric can be made responsive to switching instructions for a particular input optical signal that vary as a function of time.

This functionality can be useful in situations where the nature of the input optical signal is packet-based, with each packet having a header portion and a payload portion. The header may identify the source and destination switching nodes. Although different packets share the same wavelength and the same single-wavelength optical fiber segment, their associated headers may indicate an entirely different source and/or destination.

In this alternative embodiment of the invention, the switching node could thus comprise a bank of optical taps (e.g., PIN diodes) connected to the single-wavelength input optical fiber segments. These taps would be connected to optoelectronic converters, which would all be connected to the controller. The header of each incoming packet could thus be read and processed by the controller.

In operation, the wavelength routing (WR) protocol functions as previously described. Furthermore, once a data connection request is made, in which a respective source-destination pair is identified, a specific set of mapping instructions and wavelength conversion commands are generated using the wavelength distribution (WD) protocol, based on the network topology.

In this case, however, an additional step is performed before mapping the single-wavelength input optical fiber segment

to the single-wavelength output optical fiber segment in order to establish a particular data connection. Specifically, the header of each packet on the input optical fiber segment is examined. It is only if the source and destination specified in the header match the source-destination pair for which a connection has been prepared using the WD protocol that the previously derived mapping instructions and wavelength conversion commands are used.

Of course, it is also within the scope of the invention to allow multiple mappings to be associated with each single-wavelength input optical fiber segment, with a single mapping being applied for each packet, depending on the source and destination switching nodes specified in the header.

While preferred and alternative embodiments of the present invention have been described and illustrated, it will be understood by those skilled in the art that further variations and modifications are possible while remaining within the scope of the invention as defined in the appended claims.

4. Brief Description of Drawings

These and other aspects and features of the present invention will become apparent to persons skilled in the art upon review of the following description of specific embodiments of the invention in conjunction with the accompanying drawings, in which:

Fig. 1 illustrates in schematic form a switching node in accordance with the preferred embodiment of the present invention;

Fig. 2A shows a possible structure of a wavelength availability table created by the controller in the switching node of Fig. 1;

Fig. 2B shows a possible structure of a routing table created by the controller in the switching node of Fig. 1;

Fig. 3 illustrates in schematic form an optical network and a route linking two switching nodes in the network;

Fig. 4 illustrates in schematic form a switching node in accordance with an alternative embodiment of the present invention;

Fig. 5 shows a flowchart illustrating an inventive wavelength routing protocol;

Fig. 6 shows a flowchart illustrating an inventive wavelength distribution protocol; and

Figs. 7A and 7B illustrate routing table entries for two switching nodes along the route in Fig. 3.



PORT 710	WAVELENGTH 720	AVAILABILITY 730
402		
404		
406		
408		

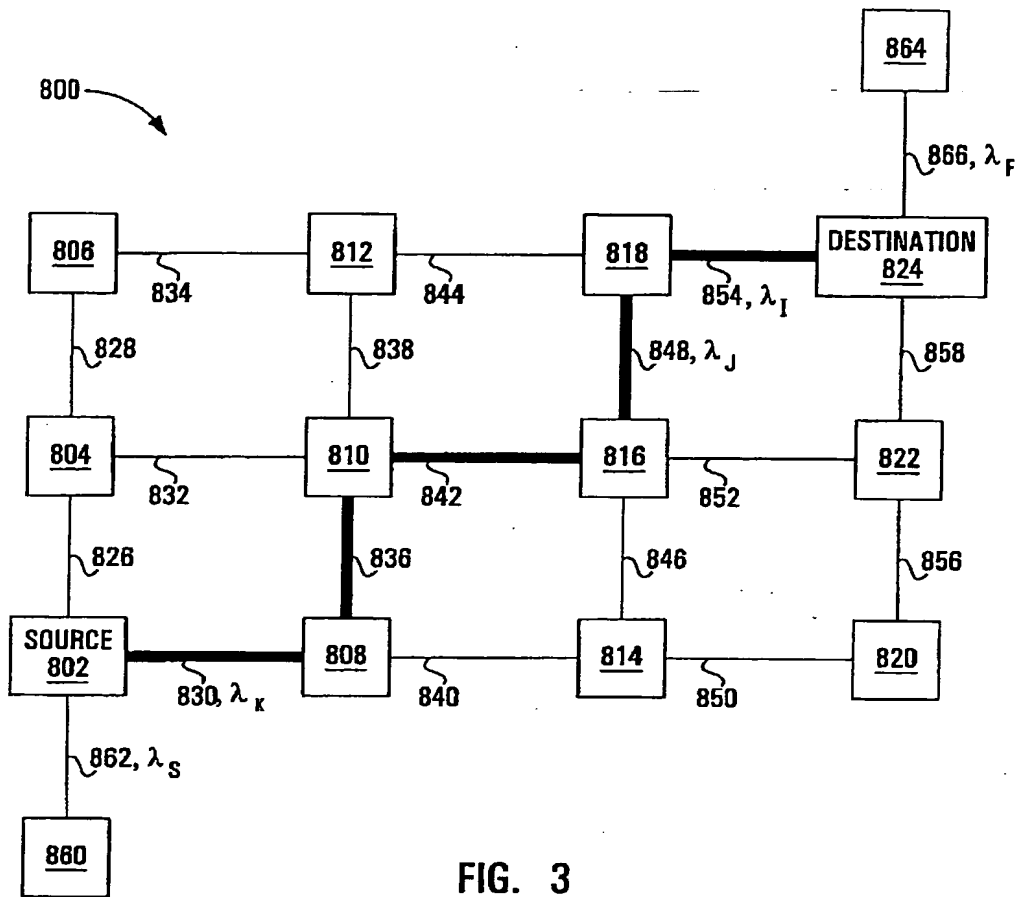
700

FIG. 2A

SSN 610	DSN 620	TCI 630	NHSN 640

600

FIG. 2B





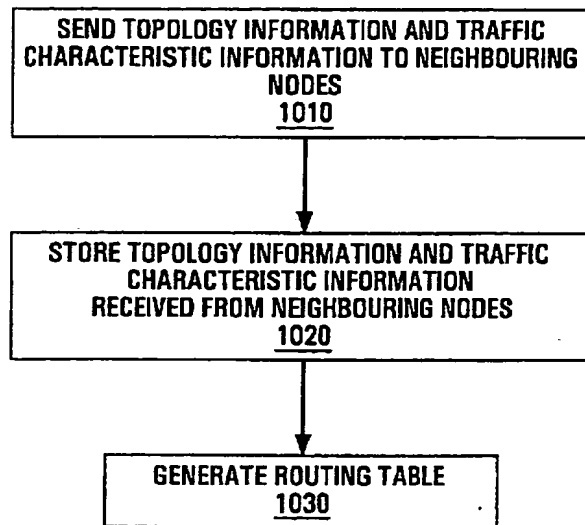
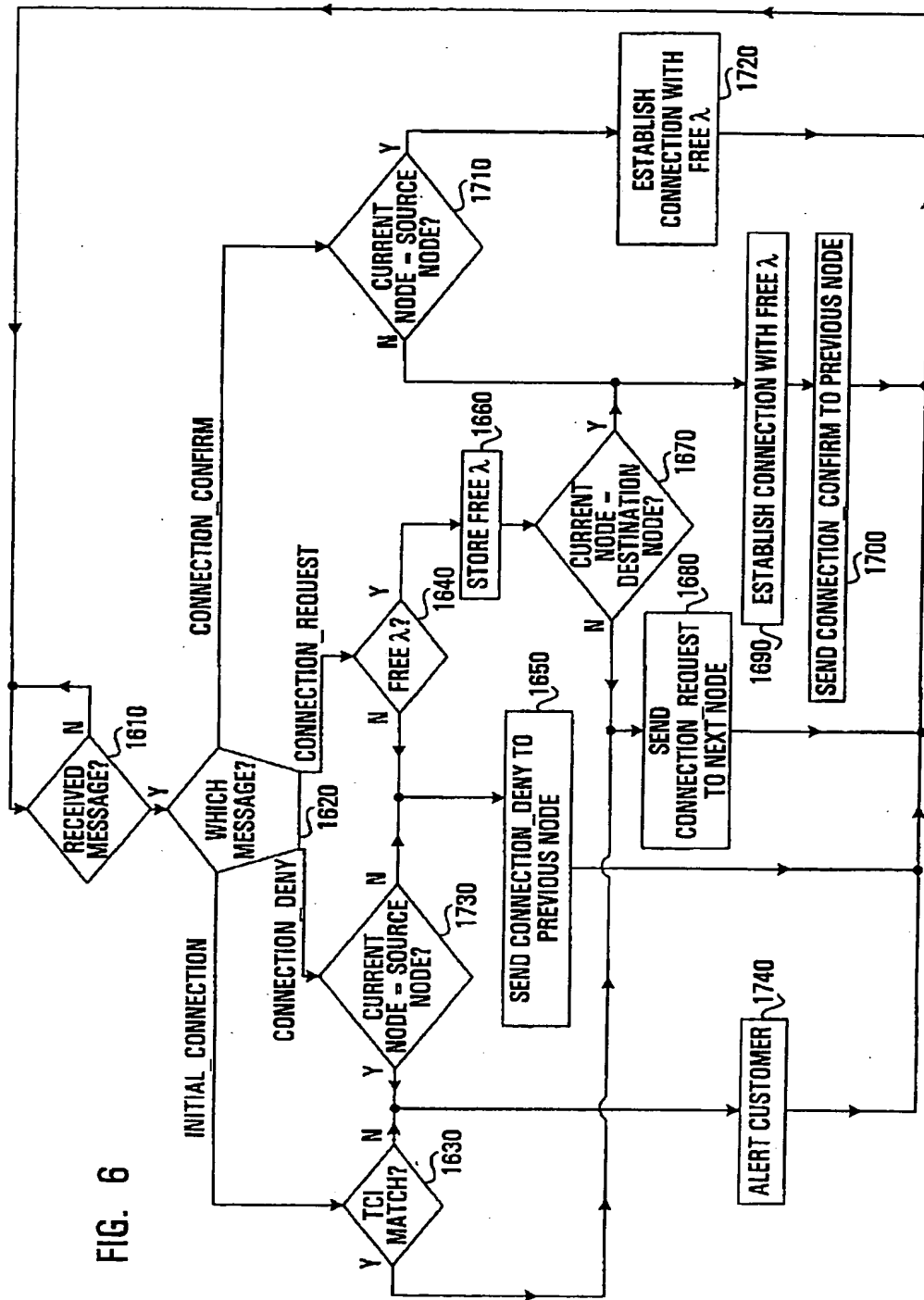


FIG. 5



<u>SSN</u> <u>610</u>	<u>DSN</u> <u>620</u>	<u>TCI</u> <u>630</u>	<u>NHSN</u> <u>640</u>
...
802	824	OC-4 OC-32 OC-192 GBE	808
...

900

FIG. 7A

<u>SSN</u> <u>610</u>	<u>DSN</u> <u>620</u>	<u>TCI</u> <u>630</u>	<u>NHSN</u> <u>640</u>
...
802	824	OC-4 OC-32 OC-192 GBE	810
...

950

FIG. 7B

A method of establishing a data connection between terminal switching nodes in a network and switching nodes for implementing the method. The method involves switching nodes participating in a network layer wavelength routing (WR) protocol to determine the next hop switching node for every possible combination of terminal nodes based on the network topology. The method also involves the switching nodes participating in a network layer wavelength distribution (WD) once the data connection is to be established. The WR protocol determines the path used through the network, while the WD protocol assigns wavelengths on each link between switching nodes. The wavelengths may be different on different optical links. The switching nodes include wavelength converters with an optical switch or optoelectronic converters with a digital electronic switch. A digital electronic switch can also provide signal reformatting. Advantages of using potentially different wavelengths along various segments of a single end-to-end connection yields increased wavelength efficiency.

2. Representative drawing

Fig. 1

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第3区分

【発行日】平成15年8月15日(2003. 8. 15)

【公開番号】特開2001-119734(P2001-119734A)

【公開日】平成13年4月27日(2001. 4. 27)

【年通号数】公開特許公報13-1198

【出願番号】特願2000-223503(P2000-223503)

【国際特許分類第7版】

H04Q 3/52

H04B 10/02

10/20

【F I】

H04Q 3/52 C

H04B 9/00 T

N

【手続補正書】

【提出日】平成15年4月23日(2003. 4. 23)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】マッピング命令に従って複数の入力光ファイバ・セグメントに到着する光信号を複数の出力光ファイバ・セグメントに切り換える光スイッチ・ファブリックと、

前記光スイッチ・ファブリックに接続され、変換コマンドに従って、入来する光信号または前記切り換えられた光信号が占有する波長を変更する波長変換手段と、
前記光スイッチ・ファブリックおよび前記波長変換手段に接続され、ネットワーク層プロトコルを用いて他のスイッチ・ノードと制御情報を交換し、該制御情報に基づいて前記マッピング命令および前記変換コマンドを生成する制御ユニットと、
を備えるスイッチ・ノード。

【請求項2】前記制御情報は、帯域外制御チャネルを用いて交換される、請求項1に記載のスイッチ・ノード。

【請求項3】前記帯域外制御チャネルは、光監視制御チャネルである、請求項2に記載のスイッチ・ノード。

【請求項4】前記制御情報は、帯域内制御チャネルを用いて交換される、請求項1に記載のスイッチ・ノード。

【請求項5】それぞれの光ファイバ・リンクを介して、該スイッチ・ノードを隣接スイッチ・ノードに接続する複数のポートを備え、
それぞれのポートについて、
それぞれのポートに接続された光方向性結合器と、

前記光方向性結合器および前記出力光ファイバの間に接続された光マルチプレクサと、

前記光方向性結合器および前記入力光ファイバの間に接続された光デマルチプレクサと、を備える、請求項1に記載のスイッチ・ノード。

【請求項6】それぞれの光デマルチプレクサに接続された少なくとも1つの追加の入力光ファイバ・セグメントであって、それぞれのポートに接続されたスイッチ・ノードからの制御情報を搬送する少なくとも1つの追加の入力光ファイバ・セグメントと、

それぞれの光マルチプレクサに接続された少なくとも1つの追加の出力光ファイバ・セグメントであって、それぞれのポートに接続されたスイッチ・ノードに制御情報を搬送する少なくとも1つの追加の出力光ファイバ・セグメントと、

前記制御ユニットと、前記追加の入力および出力光ファイバ・セグメントとの間に接続された光電変換手段と、
を備える請求項5に記載のスイッチ・ノード。

【請求項7】前記制御ユニットは、プロセッサと、該プロセッサによってアクセス可能なメモリ要素と、を備える、請求項5に記載のスイッチ・ノード。

【請求項8】前記メモリ要素は、ルーティング・テーブルおよび波長アベイラビリティ・テーブルを格納しており、

前記ルーティング・テーブルは、終端スイッチ・ノードのすべての可能な対に関連付けられたネクスト・ホップ・スイッチ・ノード・フィールドを含み、

前記波長アベイラビリティ・テーブルは、それぞれの波長多重光ファイバ・リンクによって前記ポートのいずれかに接続されたスイッチ・ノードのアイデンティティと、それぞれの波長について、該波長が占有されているかまたは利用可能かの標示と、を含む、

請求項7に記載のスイッチ・ノード。

【請求項9】前記ネクスト・ホップ・スイッチ・ノード・フィールドは、ルーティング・アルゴリズムを実行する制御ユニットによって生成される、請求項8に記載のスイッチ・ノード。

【請求項10】前記ルーティング・アルゴリズムは、Dijkstraアルゴリズムである、請求項9に記載のスイッチ・ノード。

【請求項11】前記スイッチ・ノードは、第1の終端スイッチ・ノードおよび第2の終端スイッチ・ノードによって識別される経路上にある前のスイッチ・ノードに接続されており、

前記制御ユニットは、

- a) 前記前のスイッチ・ノードからメッセージを受信し、
- b) 前記メッセージがCONNECTION_REQUESTメッセージならば、前記波長アベイラビリティ・テーブルにアクセスし、現在のスイッチ・ノードと該前のスイッチ・ノードの間のリンク上で利用可能な波長であって、前記入力光ファイバ・セグメントのうちの1つに関連付けられた波長を識別し、
さらに、前記現在のスイッチ・ノードが前記第2の終端スイッチ・ノードならば、前記利用可能な波長に関連付けられた入力光ファイバ・セグメントと、前記複数の出力光ファイバ・セグメントのうちの1つとの間に、前記利用可能な波長を用いて接続を確立するマッピング・コマンドを生成して、前記前のスイッチ・ノードにCONNECTION_CONFIRMメッセージを送信し、
前記現在のスイッチ・ノードが前記第2の終端スイッチ・ノードでないならば、前記ルーティング・テーブルにアクセスして、前記第1および第2の終端スイッチ・ノードに関連付けられたネクスト・ホップ・スイッチ・ノード・フィールドの内容を求め、該ネクスト・ホップ・スイッチ・ノード・フィールドによって識別されるスイッチ・ノードにCONNECTION_REQUESTメッセージを送信し、
- c) 前記メッセージがCONNECTION_CONFIRMメッセージならば、前記利用可能な波長に関連付けられた入力光ファイバ・セグメントと、前記複数の出力光ファイバ・セグメントのうちの1つとの間に、前記利用可能な波長を用いて接続を確立するマッピング・コマンドを生成し、前記前のスイッチ・ノードにCONNECTION_CONFIRMメッセージを送信するよう動作する、請求項8に記載のスイッチ・ノード。

【請求項12】入力光ファイバ・セグメントによって使用される利用可能な波長が、該入力光ファイバが前記光スイッチ・ファブリックを介して接続される出力光ファイバ・セグメントに関連付けられた波長と異なるならば、前記変換コマンドが前記波長変換手段に送信される、請求項11に記載のスイッチ・ノード。

【請求項13】前記制御情報は、ネットワークに関するトポロジ情報を含み、前記マッピング命令および変換コマンドは、前記トポロジ情報における変更の関数として自動的に再構成されることができる、請求項1に記載のスイッチ・ノード。

【請求項14】それぞれの入力光信号がパケットのシーケンスからなり、それぞれのパケットが、ヘッダおよびペイロードを含んでおり、

前記スイッチ・ノードは、前記入力光ファイバ・セグメントおよび前記制御ユニットに接続された手段であって、それぞれのパケットのヘッダを抽出する手段を備えており、

前記マッピング命令および前記変換コマンドは、前記ヘッダ内に含まれる情報に依存する、請求項1に記載のスイッチ・ノード。

【請求項15】それぞれの波長を占有する入力光信号を入力電子信号に変換する第1の複数の光電変換器と、出力電子信号を、それぞれの波長を占有する出力光信号に変換する第2の複数の光電変換器と、
前記光電変換器に接続され、マッピング命令に従って前記入力電子信号を前記出力電子信号にスイッチングするデジタルスイッチ・ファブリックと、
前記デジタルスイッチ・ファブリックに接続され、ネットワーク層プロトコルを用いて他のスイッチ・ノードと制御情報を交換し、該制御情報に基づいて前記マッピング命令を生成する制御ユニットと、
を備えるスイッチ・ノード。

【請求項16】前記制御情報は、帯域外制御チャネルによって交換される、請求項15に記載のスイッチ・ノード。

【請求項17】前記制御情報は、帯域内制御チャネルによって交換される、請求項15に記載のスイッチ・ノード。

【請求項18】前記スイッチ・ノードを隣接スイッチ・ノードに接続する複数のポートを備えており、それぞれのポートについて、
該それぞれのポートに接続された光方向性結合器と、
前記光方向性結合器および前記第1の複数の光電変換器の間に接続された光マルチプレクサと、
前記光方向性結合器および前記第2の複数の光電変換器の間に接続された光デマルチプレクサと、を備える、請求項15に記載のスイッチ・ノード。

【請求項19】それぞれの光デマルチプレクサに接続され、入来する制御情報を搬送する少なくとも1つの入力光ファイバ・セグメントと、
前記入力光ファイバ・セグメントおよび前記制御ユニットの間に接続された光電変換手段と、
それぞれの光マルチプレクサに接続され、送出される制御情報を搬送する少なくとも1つの出力光ファイバ・セグメントと、

前記制御ユニットおよび前記出力光ファイバ・セグメントの間に接続された光電変換手段と、
を備える、請求項18に記載のスイッチ・ノード。

【請求項20】前記制御ユニットは、スイッチングに先だって前記入力電子信号を再フォーマットする手段を備える、請求項15に記載のスイッチ・ノード。

【請求項21】前記制御ユニットは、スイッチングの後に前記出力電子信号を再フォーマットする手段を備える、請求項15に記載のスイッチ・ノード。

【請求項22】光ネットワーク内の第1および第2の終端スイッチ・ノードの間にデータ接続を確立する方法であって、該ネットワークは、前記2つの終端スイッチ・ノードと、波長多重光リンクによって相互接続された複数の他のスイッチ・ノードとを有しており、
ゼロ個以上の中間スイッチ・ノードを介して前記第1の終端スイッチ・ノードおよび前記第2の終端スイッチ・ノードの間でデータを伝送する一組のリンクおよび波長を備える経路を識別するステップと、
前記識別された経路の入口リンクおよび出口リンクに接続された中間スイッチ・ノードのそれぞれにおいて、該入口リンクに到着する光信号を該出口リンクに切り換え、該入口リンクおよび該出口リンク上で占有される波長が異なる場合には波長変換を実行するステップと、
を含む方法。

【請求項23】経路を識別する前記ステップは、
a) それぞれのスイッチ・ノードにおいて、対応するネクスト・ホップ・スイッチ・ノードを、スイッチ・ノードのすべての可能な対に関連付けるステップと、
b) 前記第1の終端スイッチ・ノードが、該第1の終端スイッチ・ノードと前記第2の終端スイッチ・ノードの組合せに今回関連付けられているネクスト・ホップ・スイッチ・ノードに、データ接続要求メッセージを送信するステップと、
c) 前記接続要求メッセージを受信した際に、前記ネクスト・ホップ・スイッチ・ノードが、該ネクスト・ホップ・スイッチ・ノードと前記第1の終端スイッチ・ノードとを接続するリンク上の波長を確保するステップと、
d) 前記ネクスト・ホップ・スイッチ・ノードを、現在のスイッチ・ノードに名前を変更するステップと、
e) 前記現在のスイッチ・ノードが前記第2の終端スイッチ・ノードに対応しない場合には、該現在のスイッチ・ノードが、前記第1の終端スイッチ・ノードと前記第2の終端スイッチ・ノードの組合せに今回対応するネクスト・ホップ・スイッチ・ノードに、データ接続要求メッセージを送信するステップと、
f) 前記接続要求メッセージを受信した際に、前記ネクスト・ホップ・スイッチ・ノードが、該ネクスト・ホップ・スイッチ・ノードと前記現在のスイッチ・ノードとを接続するリンク上の波長を確保するステップと、
g) 前記現在のスイッチ・ノードが前記第2の終端スイ

ッチ・ノードに対応するまで、前記ステップd)、e)およびf)を繰り返すステップと、
を含む、請求項22に記載の方法。

【請求項24】前記ステップa)は、前記ネットワークに関するトポロジ情報に基づいてルーティング・アルゴリズムを実行するステップを含む、請求項23に記載の方法。

【請求項25】前記トポロジ情報は、制御チャネルを用いてスイッチ・ノード間で交換される、請求項24に記載の方法。

【請求項26】前記制御チャネルは、帯域内制御チャネルである、請求項25に記載の方法。

【請求項27】前記制御チャネルは、それぞれのリンク上で少なくとも1つの波長を占有する帯域外制御チャネルである、請求項25に記載の方法。

【請求項28】光信号を切り換える前記ステップは、前記第2の終端スイッチ・ノードに接続された中間スイッチ・ノードにおいて、入口リンク上で確保された波長を占有する光信号を、出口リンク上で確保された波長に切り換え、該入口リンクに接続されたスイッチ・ノードに接続確認メッセージを送信するステップと、
他の中間スイッチ・ノードのそれぞれにおいて、前記接続確認メッセージを受信した際、入口リンク上で確保された波長を占有する光信号を、出口リンク上で確保された波長に切り換え、該入口リンクに接続されたスイッチ・ノードに前記接続確認メッセージを送信するステップと、
を含む、請求項22に記載の方法。

【請求項29】ネットワーク内の経路上のゼロ個以上の中間スイッチ・ノードを介して、第1の終端スイッチ・ノードおよび第2の終端スイッチ・ノードの間にデータ接続を確立することを可能にする波長分散プロトコルであって、
最初に前記データ接続を要求する際に、最初のCONNECTION_REQUESTメッセージが前記第1の終端スイッチ・ノードに送信され、
前記プロトコルは、前のスイッチ・ノードおよび/または次のスイッチ・ノードの間の経路上に光リンクによって接続された現在のスイッチ・ノードのそれぞれにおいて、
前記前のまたは次のスイッチ・ノードからメッセージを受信し、
前記メッセージがCONNECTION_REQUESTメッセージであって、前記現在のスイッチ・ノードが前記第1の終端スイッチ・ノードでないならば、該現在のスイッチ・ノードと前記前のスイッチ・ノードとの間のリンク上の利用可能な波長を識別して記憶し、
前記メッセージがCONNECTION_REQUESTメッセージであって、前記現在のスイッチ・ノードが前記第2の終端スイッチ・ノードならば、前記利用可能

な波長を用いて接続を確立して、前記前のスイッチ・ノードにCONNECTION_CONFIRMメッセージを送信し、

前記メッセージがCONNECTION_REQUESTメッセージであって、前記現在のスイッチ・ノードが前記第2の終端スイッチ・ノードでないならば、前記次のスイッチ・ノードにCONNECTION_REQUESTメッセージを送信し、

前記メッセージがCONNECTION_CONFIRMメッセージならば、前記前に記憶した利用可能な波長を用いて接続を確立し、

前記メッセージがCONNECTION_CONFIRMメッセージであって、前記現在のスイッチ・ノードが前記第1の終端スイッチ・ノードでないならば、前記前のスイッチ・ノードにCONNECTION_CONFIRMメッセージを送信する、波長分散プロトコル。